

**Arbeitsprogramm der Projekt-Gruppe H.T.**  
\*\*\*\*\*

Zur Entwicklung eines Hochgeschwindigkeitseflugzeugs, das bei einer Geschwindigkeit von 2000-4000 km/h und einer Flugzeit von 3-5 Std. in 100 km Höhe bei einer Nutzlast von 1000-2000 kg eine Reichweite von 11 000 km besitzt, wird eine Entwurfgruppe gebildet, die nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten Grundlagen- und Zweckforschung für das Projekt betreibt.

Sie gliedert sich in folgende Arbeitsgruppen:

**A) Wissenschaftliche Abteilung.**

**I. Gruppe: Theoretische Aerodynamik.**

- Untergruppe: 1. Stabilität  
2. Flugmechanik  
3. Flugeigenschaften  
4. Versuchsanlagen

**II. Gruppe: Theorie des Triebwerks:**

- Untergruppe: 1. Triebwerksgestaltung  
2. Treibstoff  
3. Werkstoffe

**III. Gruppe: Statik:**

- Untergruppe: 1. Festigkeitsrechnungen  
2. Konstruktionsentwicklung

**IV. Gruppe: Schwingungen.**

**V. Gruppe: Höhenphysik und Flugmedizin**

- Untergruppe: 1. Atmosphäre  
2. Strahlung  
3. Medizin

**VI. Gruppe: Bibliothek.**

**B) Konstruktions Abteilung.**

**I. Gruppe: Flugwerk.**

- Untergruppe: 1. Tragwerk  
2. Rumpf (Überdruckkabinen)  
3. Steuerung  
4. Ausrüstung (Meßgeräte)  
5. Fahrwerk  
6. Sicherheitsmaßnahmen

**II. Gruppe: Wissenschaftliche Versuchsanrichtungen.**

**C) Verwaltungs Abteilung.**

- 2 -

Als erstes Arbeitsprogramm für diese Gruppen ist vorgesehen:

a) Gruppe: Theoretische Aerodynamik.

I. Unterschall.

1. Entwicklung von Schnellflugprofilen für kleine Übergeschwindigkeiten zur Erzielung hoher unterkritischer Machzahlen. Ebenes Problem.
2. Einfluß der Streckung auf die kritische Machzahl.
3. Aufstellung von Rechenschemen zur raschen Durchführung von Druckverteilungsrechnungen an Profilen mit Einfluß der Streckung.
4. Entwicklung des Strömungsfeldes (Betrag und Richtung der Geschwindigkeiten) im Außenraum von Schnellflugprofilen für Tragflügel endlicher Streckung einschließlich Kompressibilitätseinfluß.
5. Die Berechnung der Übergeschwindigkeiten und kritischen Machzahlen bei positiv und negativ gefeilten Tragflügel großer und kleiner Streckung endlicher Dicke.
6. Berechnung des Auftriebs-, Widerstands- und Langmoments im kritischen Machzahlbereich.
7. Verbesserung der bisher bekannten Methoden zur Berechnung des Kompressibilitätseinflusses. (Prandtl - Busemann - Göttert'sche Regel).
8. Stabilitätsrechnungen. Ermittlung der Neutralpunkt-Lage.
9. Formgebung und Druckverteilung von Ringkörpern wie Einlauf- und Fang-Diffusoren von Turbinen-Ladelufttriebwerken.
10. Ruderwirksamkeit bei hohen Machzahlen. Ruder- und Leitwerkgestaltung.
11. Entwürfe von Hochgeschwindigkeitsflugzeugen.
12. Flugleistungsrechnungen.
13. Flugmechanik und Flugeigenschaften bei hohen Machzahlen.
14. Das Problem des schiebenden Flügels mit Kompressibilitätseinfluß.
15. Einfluß der Reynolds-Zahl (Grenzschicht) auf die kritische Machzahl.

- 3 -

- 3 -

## **II. Überschall.**

**Eingangsleiste Bearbeitung der Punkte 1. bis 15.**

- 16. Berechnung von Widerständen, dem Wellenwiderstand bei Überschallgeschwindigkeit für vorgegebene Machzahlen ( $M > 1$ ) möglichst klein zu halten.**

### **b) Gruppe: Theorie des Triebwerks.**

#### **I. Triebwerksgestaltung.**

- 1. Analyse vorhandener Triebwerke und ihrer Elemente nach**  
**a) Wirkungsgrad, b) maximal auftretender Temperatur**  
**(Kompressor-Engins), c) Brennstoffaufwand (Gewicht).**
- 2. Thermodynamische Berechnung und Entwicklung neuer motorischer Arbeitsverfahren.**
- 3. Bestimmung der optimalen Flugbahn, Fluggeschwindigkeit und Flughöhe.**
- 4. Entwicklung von Hochleistungs-Kühlern.**
- 5. Untersuchungen im Strömungsgebiet.**
- 6. Gaseigenschaften.**
- 7. Regelungsfragen.**

#### **II. Treibstoff.**

- 1. Systematische Zusammenstellung der charakteristischen Daten vorhandener Treibstoffe.**
- 2. Versuch der Aufstellung einer Skala zwischen dem Extremen Brennstoff-Führer.**
- 3. Vertiefung der theoretischen Erforschung der physikalisch-chemisch-thermodynamischen Erscheinungen im Grenzgebiet zwischen der Treibstoffchemie und der inneren Ballistik.**
- 4. Berechnung des Klimas im Triebwerk.**
- 5. Züchtung von Treibstofftypen in Zusammenarbeit mit dem Triebwerkonstrukteur, dem Werkstoffachmann und dem Treibstoffchemiker.**
- 6. Planung von experimentellen Versuchsarbeiten.**

- 4 -

- 4 -

### III. Werkstoffe.

1. Zusammenstellung der für das vorliegende Projekt in Frage kommenden Konstruktionsbaustoffe und ihre Festigkeitseigenschaften.
2. Zusammenstellung der hitzebeständigen Werkstoffe:
  - α) Metallische
  - β) KeramischeWerkstoffe
- γ) Kritische Betrachtung dieser Werkstoffe mit Bezug auf das vorliegende Projekt.
3. Entwicklung hoch-hitzebeständiger Werkstoffe:
  - α) Ermittlung der physikalisch-chemischen Bedingungen, unter denen die Werkstoffe im vorliegenden Projekt eingesetzt werden.
  - β) Entwicklung metall-keramischer Werkstoffe, welche geeignet sind, den chemischen Angriffen der Abgase bei hohen Temperaturen standzuhalten.
4. Praktische Festigkeitsuntersuchungen an den zur Verwendung gelangenden Werkstoffen.

#### c) Gruppe: Statik.

1. Festigkeitsfragen der Statik am

- α) Flugwerk
- β) Leitwerk
- γ) Fahrwerk
- δ) Höhenkammer
- ε) Triebwerksanbau

im Hinblick auf die besonderen Beanspruchungen des vorliegenden Projektes (Landung, Böen, Stöße, Schwingungen).

#### d) Gruppe: Schwingungen.

1. Berechnung der kritischen Fluggeschwindigkeit.
2. Flatterrechnungen mit mehreren Freiheitsgraden.

#### e) Gruppe: Höhenphysik und Flugmedizin.

1. Darstellung der Atmosphäre nach Temperatur, Dichte und Luftzusammensetzung.
2. Strahlungsforschung für große Höhen.
3. Flugmedizinische Probleme für den Höhenflug.

- 5 -

- 5 -

2) Gruppe: Bibliothek.

1. Wissenschaftliches Berichtswesen.
2. Übersetzungen.

g) Gruppe: Flugwerk.

1. Bauelementenforschung im Hinblick auf
  - x) Raumausnutzung
  - β) Gewicht
  - γ) Materialverarbeitung und -Verformung.
2. Triebwerkeinbau in Flügel und Rumpf mit Berücksichtigung des Kühlers.
3. Entwicklung von Überdruckkabine mit besonderer Berücksichtigung:
  - α) des Klimas
  - β) der Strahlung und Temperatur.
4. Steuerungsentwicklung mit besonderer Berücksichtigung der Temperatur-Unterschiede.
5. Ausrüstung:
  - α) Flugüberwachungsgeräte
  - β) Triebwerksüberwachungsgeräte
  - γ) Sondergeräte (Messtechnik).
6. Fragen zu Start und Landung.
7. Fragen der Rettung aus der 100 km-Zone.

h) Gruppe: Wissenschaftliche Forschungseinrichtungen.

1. Konstruktion eines Überschallkanals für Machzahlen  $M = 5$ .
2. Versuchsstand für Strahltriebwerke im Überschallkanal.
3. Meßgeräte für den Überschallflug.

- 6 -

**Next 6 Page(s) In Document Exempt**

Berlin-Karlshorst, den 3.2.1948.  
Dönhofsstrasse 9

Aktennotiz.

Es wurden folgende Änderungsmaßnahmen besprochen:

- 1.) Das Gerät soll gekürzt werden auf eine Lauflänge  $s = 100 \text{ mm}$   
Daraus ergeben sich folgende Änderungen:

Maximale Laufgeschwindigkeit der Schlitten  
in x- und y - Richtung

$$\frac{da_x}{dt} = 5 \text{ mm/sec}$$

$$\frac{da_y}{dt} = 5 \text{ mm/sec}$$

Maximale Weglängen

$$a_x = 15 \text{ mm}$$

$$a_y = 15 \text{ mm}$$

- 2.) Die Anordnung der Schlitten bleibt grundsätzlich so wie  
bereits projiziert.

Um die genügende Annäherung des Schlitten-Drehpunktes an  
den Spiegel-Drehpunkt zu gewährleisten, ohne sich konstruk-  
tive Beschränkungen aufzuerlegen, wird ein gedachter Dreh-  
punkt verwandt. Der Spiegel sitzt unterhalb der Apparatur,  
der Stangenmittelpunkt liegt in einer Gabelkonstruktion.  
Die Endbegrenzung wird durch einen Schalter bewirkt. Der  
Drehpunkt des Spiegels soll ungefähr in der Tischebene  
liegen, da die gesamte Länge der Optik (Joergens) im aus-  
gefahrenen Zustand eine Baulänge von etwa 700 mm aufweist.  
Über die Abmessungen der Filmapparatur sind alle Daten  
hier bekannt.

N-2-

- 3.) Bezüglich des Längsantriebes des Schlittens ( in z-Achse ) wurde beschlossen, ein Getriebekasten zu verwenden, an dem der 25 Watt-Motor und zwei Selsine angeschlossen werden. Das Geschwindigkeitsverhältnis von Motor zur Hauptantriebswelle des Schlittens in z-Richtung soll etwa 1 : 3 sein. Die Selsine soll mit annähernd gleicher Drehzahl wie die Hauptwelle laufen. Ein Selsine-Modell schickt Dr.H. umgehend an Herrn Cxen.
- 4.) Zum Antrieb für die Drehrichtung wurde folgende Lösung gewählt:  
Der Antriebsmotor treibt ein Schneckenrad. Diese Schnecke treibt zwei Räder, deren Rotationsebenen um 90° versetzt sind. Jedes dieser Schneckenräder treibt ein Ritzel an. Das eine Ritzel treibt die Trommel der Spiegelapparatur, das andere den Drehmechanismus für die Optik an. Für den Antrieb der Optik wird dasselbe Rad verwandt, wie für die Trommel vorgesehen ist. Die Verbindung zwischen Landschaftsprojektor und Spiegelapparatur erfolgt entweder durch Seil oder Kette, wobei der Kettenlösung der Vorzug zu geben ist.
- 5.) Für die Spiegelapparatur wird ein Extra-Tisch gebaut. Dieser soll möglichst dieselbe Plattenhöhe haben wie der Schalttisch, obwohl diese Forderung keine technische Bedingung darstellt.

gez: Dr.Hilgers.





- 2 -

A. Aufbau des Antriebsreglers.

Der Antriebsregler 1.00. Pg 10-2.01.00 ist bis auf die Schaltung der gleiche wie der Antriebsregler 1.08-2.00.00. Die Schaltung des Antriebsreglers 1.00. Pg 10-2.01.00 ist aus dem Stromlaufplan (Blatt 1) zu ersuchen. Die einzelnen Bauelemente sind aus der Stückliste Blatt 2 zu entnehmen.

B. Wirkungsweise.a) Allgemeines.

Der Antriebsregler ist ein Impulgeber. Durch eine Relaisanordnung wird die volle Ankerspannung für den Gestellantriebsmotor impulsweise gegeben. Die Impulsfolge ist von der Größe der angelegten Eingangsspannung abhängig. Die Impulshöhe bleibt in ganzen Regelbereich annähernd konstant, dagegen ändert sich die Impulsbreite proportional der Eingangsspannung. Im Mittelwert liegt eine kleinere Ankerspannung an dem Gestellantriebsmotor und somit ist die Drehzahl von der Impulsbreite und von der Impulsfolge abhängig. Das Drehmoment wird dabei nicht geschwächt, denn bei jedem Impuls liegt die volle Ankerspannung am Gestellantriebsmotor.

b) Regelvorgang.

Wird an die Steuerspule des polarisierten Relais RP mit Mittelstellung eine Regelspannung gelegt, dann steigt mit wachsender Spannung und damit proportional der Strom in der Steuerspule an. Hat der Strom den Umschaltwert des Relais erreicht, so schaltet der Relaisanker A, je nach der Stromrichtung, von der Mittelstellung auf Kontakt Z bzw. Kontakt T um. Dabei wird ein zweiter Stromkreis, der über die Hilfsrelais RH 1 bzw. RH 2 führt, geschaltet. Das betreffende Hilfsrelais, z.B. RH 1, legt mit seinen Schaltkontakten  $rh_1^{II}$  und  $rh_1^{II}$  über zwei Drosseln den Anker des Gestellantriebsmotors an die 24 V Gleichspannung. Gleichzeitig wird die Kompensationswicklung, der parallel ein Kondensator geschaltet ist, an die 24 V-Gleichspannung gelegt.

- 3 -

Die Spannung am Kondensator steigt und damit proportional der Strom in der Kompensationswicklung nach einer Exponentialfunktion an. Durch einen Vorwiderstand  $R_x$  kann die Zeitkonstante und der Maximalwert des Stromes verändert werden. (Siehe Stromlaufplan Blatt 1).

Ist der Strom in der Kompensationswicklung soweit angestiegen, dass die Erregung bis auf die Abfallerregung des polarisierten Relais  $K_1$  kompensiert ist, dann fällt der Relaisanker A ab, das Hilfsrelais  $KH_1$  wird stromlos, der Motoranker wird abgeschaltet und kurzgeschlossen. Der Kondensator entlädt sich und der Strom in der Kompensationswicklung nimmt nach einer Exponentialfunktion ab.

Ist der Strom in der Kompensationswicklung soweit abgefallen, dass die Erregung bis auf die Anzugserrregung des polarisierten Relais  $K_2$  kompensiert ist, dann zieht der Relaisanker A wieder an und beginnt von neuem.

Die geschilderten Vorgänge sind auf Blatt 2 graphisch dargestellt. Der Stromverlauf in der Kompensationswicklung bei eingeschaltetem Motoranker ist durch die Gleichung

$$J_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})$$

$$J_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})$$

und bei kurzgeschlossenem Motoranker durch die Gleichung

$$J_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t}{T_2}}$$

gegeben.

Die für den Steuervorgang wichtigen Umschaltzeiten  $t_1$  und  $t_2$  sind durch je zwei parallele Geraden gekennzeichnet und durch die Schnittpunkte der Kurven  $J_1$  und  $J_2$  gegeben.

Setzt man den Maximalstrom in der Kompensationswicklung  $= 1$  und den Maximalstrom in der Steuerwicklung auch gleich 1, so erkennt man, dass mit zunehmendem Steuerstrom das Umschaltzeitverhältnis  $t_1 : t_2$  sich ändert.

- 4 -

Mit zunehmenden Steuerstrom in der Steuerwicklung werden die beiden Geraden im gleichen Abstand parallel zur Abszisse nach oben verschoben. Durch diese Verschiebung wird der Anstieg der Kurve  $J_1$  langsamer, während der Abfall der Kurve  $J_2$  an Steilheit zunimmt.

Wird der Steuerstrom in der Steuerentwicklung = 1, so kann der Kompensationsstrom nicht mehr zur Wirkung kommen. Der Relaisanker bleibt am Kontakt liegen und der Motor bekommt dauernd die volle Ankerspannung. (Siehe graphische Kurvendarstellung Blatt 2).

Die Regelwirkung beruht lediglich auf der Änderung der Umschaltzeitverhältnisse  $t_1 : t_2$ . Auf Blatt 4 ist die Impulszahl in Abhängigkeit vom Steuerstrom = 1 dargestellt. Die errechneten Werte der Impulse liegen etwas höher als die, die der praktische Versuch gezeigt hat. Das ist darauf zurückzuführen, weil bei der Berechnung der Kompensationsströme  $J_1$  und  $J_2$  die Induktivität nicht berücksichtigt worden ist und die Schaltzeit der Hilfsrelais  $RH_1$  bzw.  $RH_2$  von 12 msec zu gering angenommen wurde.

#### c) Messergebnisse

Der Strom in der Kompensationswicklung des Relais A wurde mit einem Schleifenoszillographen gemessen (siehe Blatt 5 und 6). Die Aufnahmen zeigen Anstieg und Abfall des Kompensationsstromes bis zu den Umschaltpunkten des Relaisankers A.

Das Oszillogramm I, Blatt zeigt bei kleinem Steuerstrom ein schnelles Ansteigen des Kompensationsstromes bis zum Umschaltpunkt des Relaisankers A, während der Abfall des Kompensationsstromes langsam erfolgt.

Mit zunehmendem Steuerstrom (Oszillogramme II - V) wird der Anstieg des Kompensationsstromes verlangsamt, während der Abfall des Kompensationsstromes rascher erfolgt. Die aus den Aufnahmen entnommenen Werte  $t_1$  und  $t_2$  stimmen mit den theoretischen Werte  $t_1$  und  $t_2$  gut überein.

- 5 -

Auf Blatt 7 u. 8 sind die Impulsströme bei eingeschalteten Motoranker bei verschiedenen Strömen in der Steuer- spule der Relais RP mit dem Schleifenoszillographen aufgenommen worden, wobei bedeutet:

- $\angle t_1$  - Impulsdauer
- $\Delta t_2$  - Schaltpause
- $\Delta t_3$  - Schaltzeit des Hilfsrelais
- $\Delta t_4$  - Generatorimpuls bei kurzgeschlossenen Anker.

Auf Blatt 9 ist die Impulszahl in Abhängigkeit vom Steuerstrom graphisch dargestellt worden. Die Übereinstimmung mit der theoretischen Darstellung auf Blatt 4 ist annähernd gleich.

Auf Blatt 10 ist die Drehzahl an der Ausgangsachse des Gestellantriebmotors in Abhängigkeit vom Strom in der Steuer- spule des Relais RP dargestellt. Der Drehzahlverlauf nimmt fast einen linearen Charakter an und genügt den gestellten Anforderungen.

7 - 6 -

Ant 15

# Berechnung der Kompensationsströme

(1 + A) = 0

$$R_1 = 2000 \text{ Ohm}$$

$$R_2 = 1700 \text{ Ohm}$$

$$C = 60 \mu\text{F}$$

$$\frac{1}{C} \cdot J_3 = \frac{dJ_1}{dt} \cdot R_1 ; J_2 = J_1 + R_1 \cdot C \frac{dJ_1}{dt}$$

$$E = (J_1 \cdot R_1 C \frac{dJ_1}{dt}) R_2 + J_1 \cdot R_1$$

$$J_1 (R_1 + R_2) + \frac{dJ_1}{dt} C \cdot R_1 \cdot R_2 = E$$

$$J_1 + \frac{dJ_1}{dt} C \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$J_1 + J_1' A = B$$

$$J_1 = a \cdot e^{\alpha t} + ; J_1' = a \cdot \alpha \cdot e^{\alpha t}$$

$$a \cdot \alpha \cdot e^{\alpha t} + b + A (a \cdot e^{\alpha t}) = B$$

$$\text{Setzt man } b = B = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

-7-

dann ist

$$a \cdot e^{-\alpha t} + A (a \cdot e^{-\alpha t}) = 0$$

oder

$$a \cdot e^{-\alpha t} (1 + A) = 0$$

$$\frac{1}{A} = - \frac{1}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} C}$$

$$J_1 = a \cdot e^{-\alpha t} + b = a \cdot e^{-\alpha t} + \frac{E}{R_1 + R_2}$$

Annahme: C sei ungeladen. Für die Zeit  $t = 0$  wird auch

$$J_1 = 0; \text{ dann ist}$$

$$J_1 = 0 = a + \frac{E}{R_1 + R_2}$$

und

$$a = - \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$J_1 = a \cdot e^{-\alpha t} + b = - \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{E}{R_1 + R_2}$$

oder

$$J_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} (1 - e^{-\alpha t})$$

Diese Gleichung gilt für die Aufladung des Kondensators von Spannung 0 beginnend. Dies ist jedoch steuertechnisch ohne Bedeutung, da dieser Fall lediglich beim ersten Einschalten eintritt.



- 8 -

Das Umschalten des Relaiskontaktes erfolgt in dem Augenblick, in dem die Spannung am Kondensator und damit proportional der Strom in der Kompensationswicklung  $R_1$  soweit angestiegen ist, bis die Erregung auf die Abfallerregung kompensiert ist.

Die Spannung  $E$  wird abgeschaltet und durch den Kontakt  $r_1$  die Kompensationswicklung  $R_1$  und der Widerstand  $R_2$  kurzgeschlossen.

Der Kondensator entlädt sich, d.h. die Spannung am Kondensator  $U$  fällt und damit proportional der Strom in der Kompensationswicklung  $J_2$ .

Für  $U = 0$  wird der Abfallstrom  $J_2$  in der Kompensationswicklung

der Kompensationswicklung  $J_2$  auf  $J_2 = J_2^0 + A = 0$  vermindert.

$$J_2 = a \cdot e^{-\lambda t} + b ; J_2^0 = a \cdot e^{-\lambda t}$$

$$a \cdot e^{-\lambda t} + b + A = 0 \quad e^{-\lambda t} = 0$$

Ist  $b = 0$ , dann wird:

$$a \cdot e^{-\lambda t} + A \cdot e^{-\lambda t} = 0$$

oder



- 9 -  
- 10 -

$$a \cdot e^{At} (1 + A \tau) = 0$$

und

$$\tau = -\frac{1}{A} = -\frac{1}{\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_2}{R_1} C}$$

$$J_2 = a \cdot e^{At}$$

Für die Zeit  $t = 0$ , wird:

$$J_2 = a = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

und der Abfallstrom

$$J_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot e^{At}$$

Diese Gleichung gilt für die Entladung des Kondensators.

Das Umschalten des Relaisankers erfolgt in dem Augenblick, in dem die Spannung am Kondensator und damit proportional der Strom in der Kompensationswicklung soweit abgefallen ist, bis die Erregung auf die Anzugserregung kompensiert ist und der Vorgang von neuem beginnt.

- 10 -

Ausrechnung der Kompensationsströme  $J_1$  und  $J_2$

$$A = - \frac{1}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}} \quad C = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 1,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3 + 1,7 \cdot 10^3} \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 0,0552$$

t	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$\frac{1}{t}$	0,181	0,363	0,545	0,727	0,91	1,81	2,72	3,63	4,54
$J_1 = 1 - \frac{1}{A}$	0,128	0,285	0,425	0,518	0,593	0,835	0,933	0,973	0,989
$J_2 = 1 - \frac{t}{A}$	0,872	0,715	0,575	0,482	0,407	0,165	0,067	0,027	0,011

- 9 -

Berechnung von  $t_1$  und  $t_2$

$$f_1 = 1 - e^{-t_1}$$

$$f_1 + \Delta f_1 = 1 - e^{-(t_1 + \Delta t_1)}$$

$$1 - e^{-(t_1 + \Delta t_1)} = 1 - e^{-t_1} - e^{-t_1} \Delta t_1$$

$$1 - e^{-t_1} - e^{-t_1} \Delta t_1 = 1 - e^{-t_1}$$

$$- e^{-t_1} \Delta t_1 = 0$$

$$\Delta t_1 = 0$$

$$\Delta t_1 = \frac{1}{f_1} \left( 1 - \frac{1}{f_1 + \Delta f_1} \right)$$

$$\Delta t_1 = \frac{1}{f_1} \left( 1 - \frac{1}{f_1 + \Delta f_1} \right)$$

$$f_2 = f_1 + \Delta f_1$$

$$f_2 + \Delta f_2 = 1 - e^{-(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}$$

$$f_2 + \Delta f_2 = (f_1 + \Delta f_1) e^{-\Delta t_2}$$

$$1 - e^{-\Delta t_2} = \frac{f_2 + \Delta f_2}{f_1 + \Delta f_1}$$

$$\Delta t_2 = -\ln \left( \frac{f_1 + \Delta f_1}{f_2 + \Delta f_2} \right)$$

$$\Delta t_2 = \frac{1}{f_2} \left( 1 - \frac{f_1 + \Delta f_1}{f_2 + \Delta f_2} \right)$$

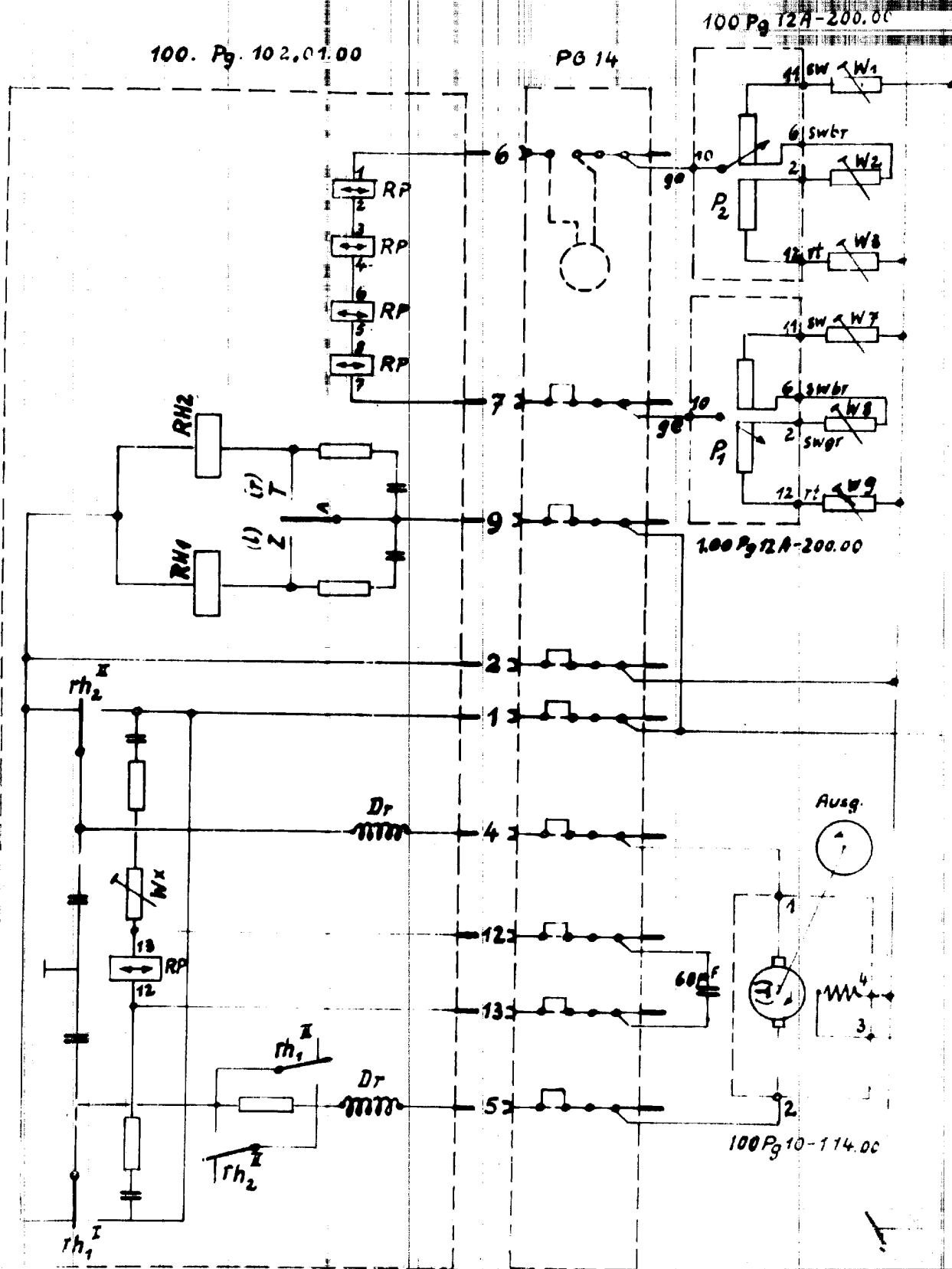
- 10 -

Ausrechnung von  $\Delta t_1$  und  $\Delta t_2$

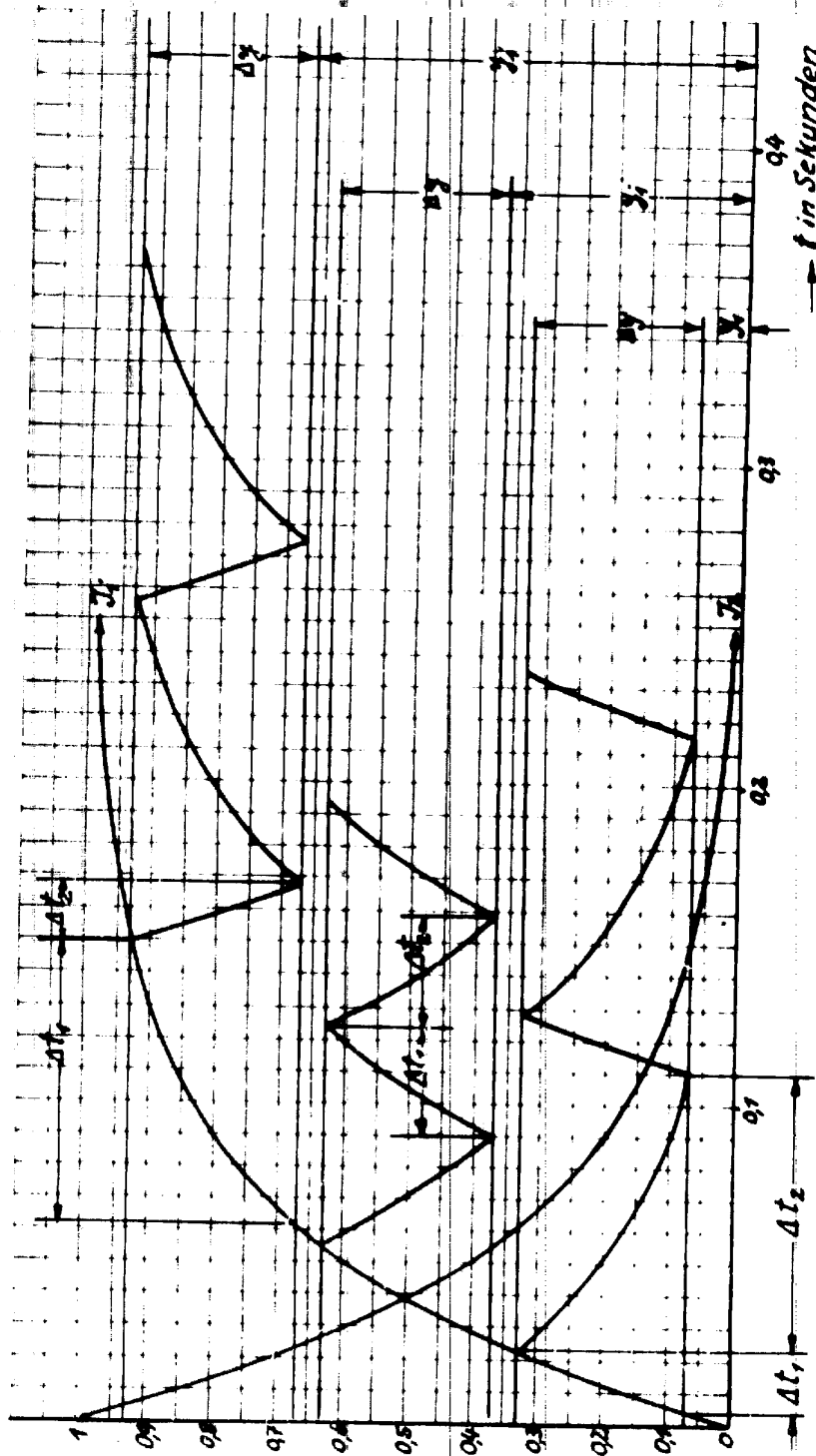
$\Delta t = 0,2 + \text{Schaltzeit des Hilfsrelais BH}_1 = 0,06 = \text{konst.}$

$\Delta t = 0,2 + 0,06 = 0,26$

$\Delta t$	$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\Delta t_1 + \Delta t_2$	$\frac{1}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$
0,1	0,0188	0,0706	0,0894	11,17
0,2	0,0216	0,0459	0,0675	14,8
0,3	0,0256	0,0343	0,0599	16,7
0,4	0,0311	0,0275	0,0586	17,1
0,5	0,0405	0,0230	0,0635	15,75
0,6	0,0579	0,0198	0,0777	12,85
0,7	0,0811	0,0173	0,1283	7,8



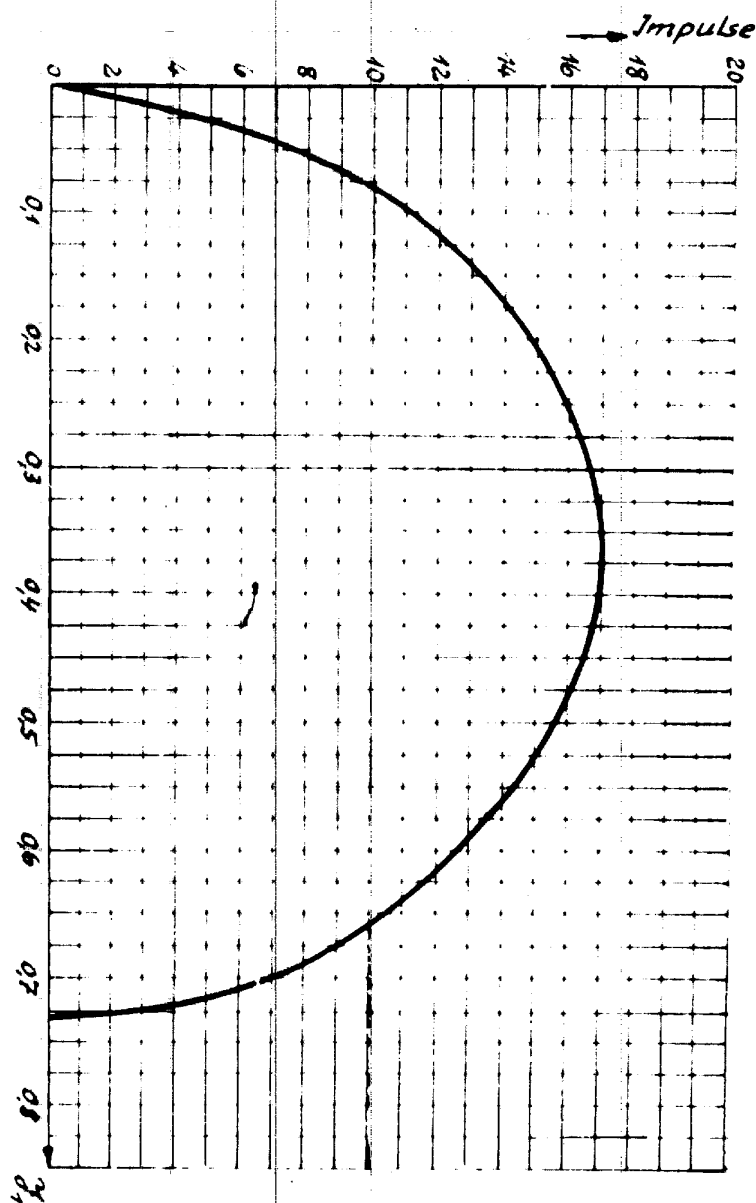
Blat. 1



$\Delta t_1$  = Abfallzeit polar. Relais RP + Hilfsrelais = konst.

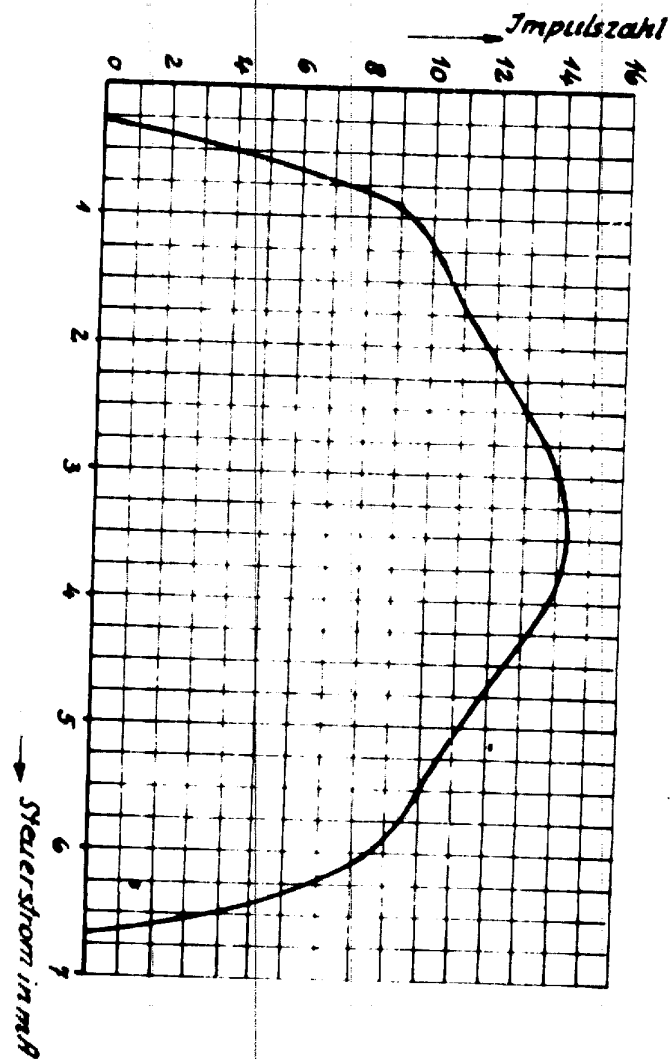
$\Delta t_2$  = Anzugszeit polar. Relais RP = abhängig vom Steuerstrom  
+ Schaltzeit des Hilfsrelais RH = konst.

Blatt 2



Theoretische (errechnete) Frequenzkurve

Blatt 3



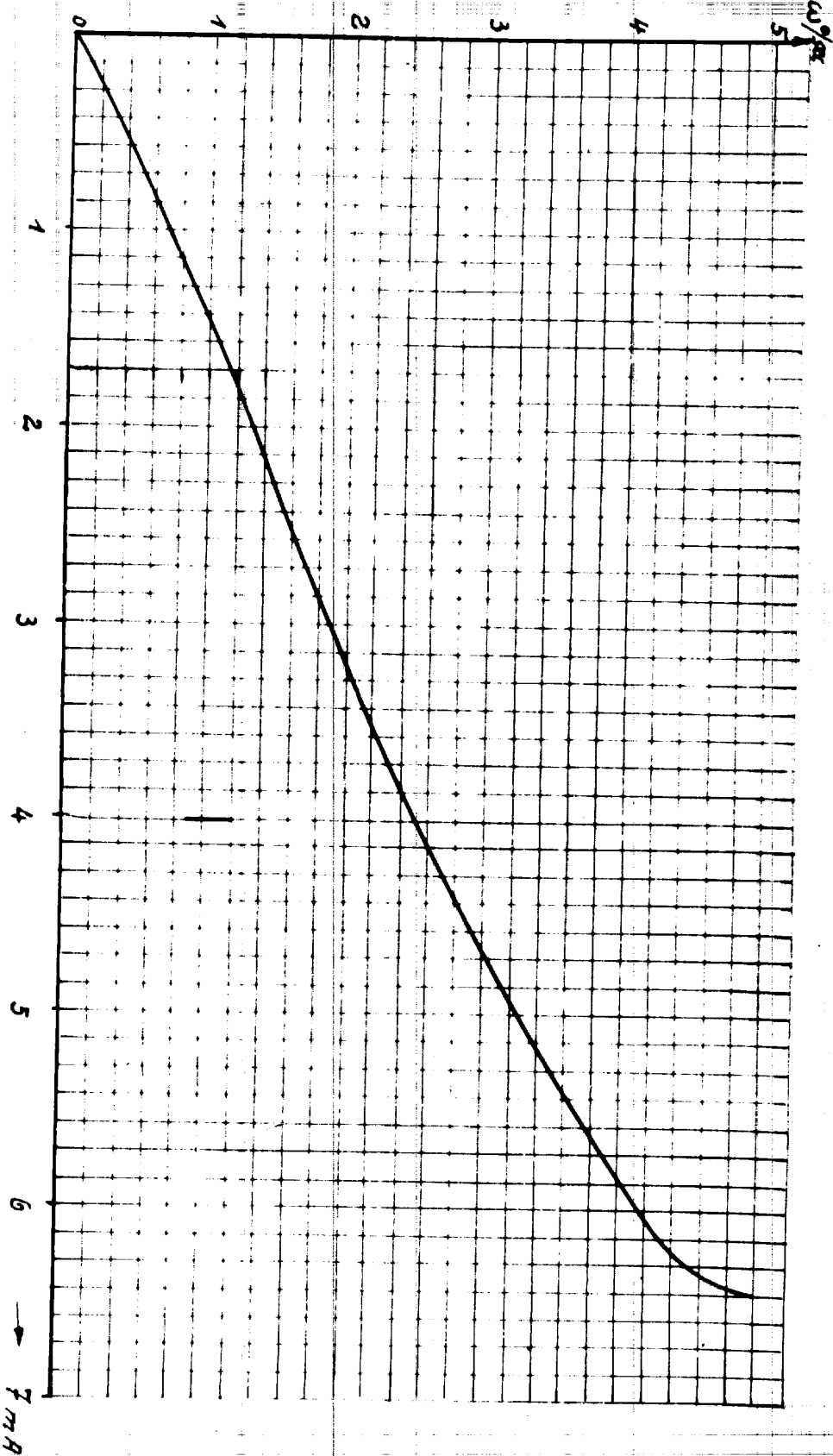
Durch Versuche ermittelte Frequenzkurve

Blatt 4

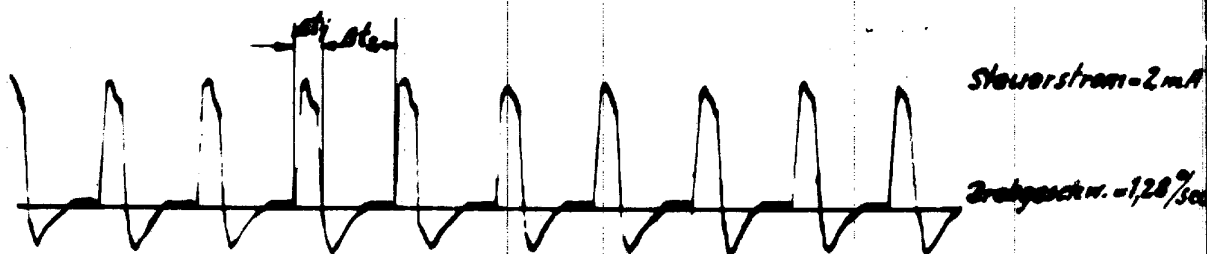
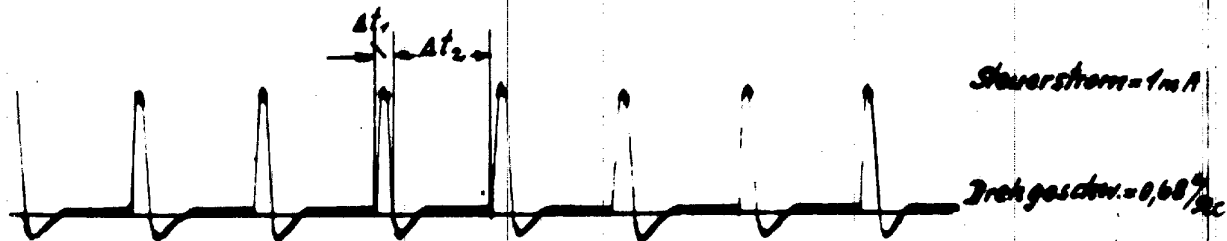
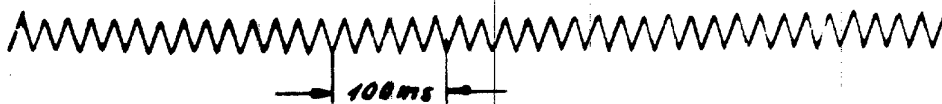


Motorzahl in Abhängigkeit vom Steuerstrom

Blatt 5



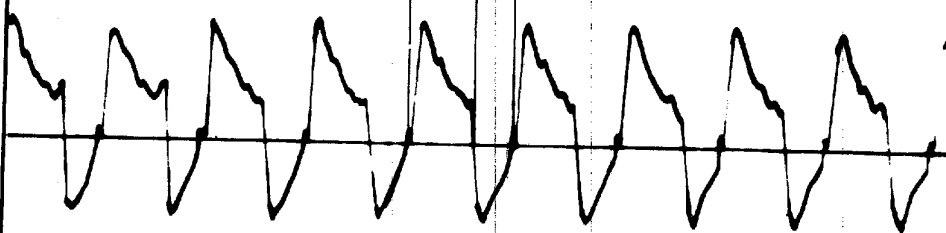
# *Impulsabgabe des Antriebreglers an den Motoranker*



# *Impulsabgabe des Antriebreglers an den Motoranker*



$\Delta t_1, \Delta t_2$



*Steuerstrom = 5 mA*

*Drehgeschw. = 32°/sec*



$\Delta t_1, \Delta t_2$



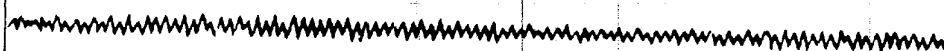
*Steuerstrom = 6 mA*

*Drehgeschw. = 47°/sec*

$\Delta t_3, \Delta t_4$



*Steuerstrom = 7 mA*



*Drehgeschw. = 5°/sec*

Magnetische Verstärker für die Mess- und Regeltechnik

ÜBERSICHT \*) Nach einem geschichtlichen Überblick über die Entwicklung der auf magnetischer Grundlage beruhenden, mit gleichstromvornagnetisierten Drosselspulen arbeitenden sogenannten Verstärker, die vielfach auch Eisenverstärker genannt werden, wird über besondere Ausführungsarten magnetischer Verstärker berichtet, die in der Mess- und Regeltechnik als Relais, Messverstärker und Nullstromverstärker benutzt werden können. Die bei der praktischen Anwendung derartiger Verstärker in Betracht kommenden Einflussgrößen (Spannungs-, Frequenz- und Wellenformeinfluss, Temperatur- und Fremdeinflüsse, Einfluss einer in Steuerstrom enthaltenen Wechselstromkomponente) werden zusammengestellt. Die typische Ausführung der magnetischen Nullstromverstärker wird kurz beschrieben.

### EINFÜHRUNG

Die sogenannten magnetischen Verstärker, die vielfach auch Eisenverstärker genannt werden, beruhen auf der in der Elektrotechnik für verschiedenartige Zwecke ausgenutzten Erscheinung, dass die Induktivität einer Wechselstromdurchflossenen Drosselspule mit Eisenkern, auf die eine Gleichstrommagnetisierung zusätzlich einwirkt (gleichstromvornagnetisierte Drosselspule)  $1/\mu$ , von der Stärke des diese Gleichstrommagnetisierung hervorruhenden Stromes gesetzlich abhängig ist. Eine derartige Drosselspule stellt einen Induktivitätsstand dar, dessen Grösse durch einen rein elektrischen Eingriff, nämlich durch die Gleichstromvornagnetisierung des Eisenkerns, innerhalb bestimmter Grenzen stetig verändert werden kann. Durch anwenden besonderer Schaltungsanordnungen mit entsprechend bemessenen gleichstromvornagnetisierten Drosselspulen ist es möglich, mit verhältnismässig schwachen Gleichstromen deutlich stärkere Wechselströme gesetzlich zu verändern und diese eine Verstärkerwirkung zu erreichen. Hierbei ist Verstärkungsfaktor definiert durch das Verhältnis zwischen dem Stromverbraucher, z.B. Glühlampe, Relais oder Messgerät, zugeführten Ausgangsleistung und der Stärke des Steuer Gleichstromes und dem Widerstand. Die Entwicklung sich ergebender Leistungsleistung.

- 2 -

Diese Art ~~elektronischer~~ ~~Verstärkung~~ ~~kleiner~~ ~~Strome~~ ~~und~~ ~~Span-~~  
nungen bietet die wertvolle Möglichkeit, einerseits die durch  
Einführen der Elektronenröhre in die Mess- und Regeltechnik  
gebrachten Vorteile mit Ersatz der intermittierend arbeitenden  
Verfahren durch stetige beizubehalten, andererseits aber die  
mit Verstärkerröhren auf manchen Anwendungsgebieten verbundenen  
Unannehmlichkeiten, wie begrenzte Lebensdauer der Röhren, Nach-  
teile der Röhren bei rauen Betriebsverhältnissen, Schwierig-  
keiten beim Verstärken kleiner Gleichspannungen, zu vermeiden.  
Die magnetischen Verstärker, die rein elektrisch, also ohne  
irgendwelche mechanisch bewegten Teile, geschlos arbeiten,  
keinerlei Abnutzung unterworfen sind und sich somit durch be-  
sondere Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit auszeichnen, dürften  
daher für die Mess- und Regeltechnik eine grosse Bedeutung er-  
langen.

Die bei den magnetischen Verstärkern angewendeten ~~Grund-~~  
schaltungen entsprechen im wesentlichen den mit  
mehreren Gleichstromvorgemagnetisierten Drosselspulen arbeitenden  
Anordnungen, die J. CATTELL /2/, J. A. A. JOLY /3/, G. VALIAURI /4/  
und andere /5/ als statischen Frequenzwandler, v. NEUBAUER /6/,  
K. ROTHSCHILDER /7/, A. KRÄMER /8/ und H. RITZ /9/ zum Messen  
starker Gleichströme und F. P. W. ALBERTSON /10/, L. KERN /11/,  
L. WANDERLICH und R. PAPPAS /12/ zur Modulation von Hochfre-  
quenzströmen benutzt haben. Ph. THOMAS /13/ hat schon im  
Jahre 1928 einen insbesondere zur Temperaturregelung mit Therma-  
elementen oder Widerstandsthermometern geeigneten, von Wechsel-  
stromnetz gespeisten magnetischen Verstärker beschrieben, dessen  
Verstärkungsfaktor 1200 ist. Im Jahre 1935 berichten J. CATTELL  
und G. CHURCH /14/ über eine Stromrichtersteuerung mit Thermo-  
elementen und magnetischen Verstärker, der die Leistungsver-  
stärkung 40000 ergab. In Amerika hat sich besonders A. A. JOLY  
/15/ mit dem Bau von magnetischen Verstärkern für Temperaturrege-  
lungen beschäftigt und im Jahre 1937 über hochempfindliche mehr-  
stufige magnetische Verstärker berichtet, die bereits bei einer  
Eingangsleistung von etwa 1 Mikrowatt ausreichen und die Ver-  
stärkungsfaktoren 50000 (vierstufig) bzw.  $10^7$  (fünfstufig)  
besitzen. Weiterhin hat G. HADFIELD /1/ in seinem im Jahre 1937  
erschienenen zusammenfassenden Bericht darauf hingewiesen,  
dass bei der Wahl der vorgemagnetisierten Drosselspule  
und des Widerstandselementes von Wichtigkeit ist, die hohe Verstärkung

+ 3 -

teren ergeben. Ferner hat G. KHINATH /16/ schon im Jahre 1933 auf die Bedeutung der neuzeitlichen Nichteisenlegierungen, z.B. Mumetall, Permalloy, Werkstoff 1040, für die Messung von Gleichströmen mit vormagnetisierten Drosselspulen hingewiesen und zahlreiche Kennlinien wiedergegeben, die auch für den Bau magnetischer Verstärker, bei denen es sich um geringe Gleichstromstärken handelt, eine wertvolle Grundlage darstellen.

In folgenden wird über besondere Ausführungsarten von magnetischen Verstärkern berichtet, die in der Mess- und Regeltechnik als Relais, Messverstärker und Nullstromverstärker benutzt werden können. Wie bei der praktischen Anwendung derartiger Verstärker in Betracht kommenden Einflussgrößen, wie Spannung, Frequenz und Wellenform, Temperatur und Fremdfeldeinflüsse, werden zusammengestellt. Die bauliche Ausführung der magnetischen Nullstromverstärker wird kurz beschrieben.

- \*) Vgl. L. G e y g e r, Grundlagen der magnetischen Verstärker für die Mess- und Regeltechnik, Wiss. Veröff. Siemens-Werk. 19 (1940) H. 3, S. 4.

- 1) Die Zahlen in eckigen Klammern / / beziehen sich auf das Schrifttumsverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

- 4 -

RELAIS UNTERSTÜTZUNG

## 1. Als kontaktfreies Relais wirkendes magnetische Verstärker.

Der magnetische Verstärker ermöglicht, durch in- und ausschalten oder durch Verändern eines der Steuerwicklung zugeführten Eingangstromes einen bedeutend stärkeren Ausgangstrom gesetzmäßig zu beeinflussen; er kann also als Relais benutzt werden, das rein elektrisch, d.h. ohne irgendwelche mechanisch bewegten Teile arbeitet /17/.

Bei der in Bild 1 dargestellten, auf dem Prinzip der rückgekoppelten Drosselpule /18/ beruhenden Schaltungsanordnung sind die beiden übereinstimmend bemessenen wechselstromseitig in gleichem Sinne und gleichstromseitig in entgegengesetztem Sinne hintereinandergeschalteten eisengeschlossenen Drosselpulen  $L_1$ ,  $L_2$ , die auch zu einer Dreischankendrossel zusammengezogen werden können, als stetig regelbarer Vorwiderstand mit der Bürde  $R_B$  (Stromverbraucher) und mit einem Gleichrichter  $G$  (Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter in Brückenschaltung hintereinandergeschaltet und an die Wechselspannung  $U$  angeschlossen, die über einen Isoliertransformator  $T$  des Wechselstromnetzes entnommen wird. Der vom Gleichrichter  $G$  abgegebene Gleichstrom, der den in den Wechselstromwicklungen der Drosselpulen  $L_1$ ,  $L_2$  fließenden Wechselstrom  $I_B$  proportional ist, durchfließt die in entgegengesetztem Sinne hintereinandergeschalteten und mit einem Nebenwiderstand  $R_N$  versehenen Rückkopplungswicklungen der Drosselpulen  $L_1$ ,  $L_2$ . Der Wechselstrom  $I_B$ , der vom Gleichrichter  $G$  gleichgerichtet wird und als Gleichstrom  $I_G$  selbst vormagnetisierend wirkt, ändert sich bezüglich seiner Größe und Phasenlage mit der Stärke der den Gleichstrom- (Steuer-) Wicklungen der Drosselpulen  $L_1$ ,  $L_2$  zugeführten Gleich- (Steuer-) Stromes  $I_G$ , weil die Permeabilität bzw. der magnetische Widerstand der Eisenkerne von  $L_1$  und  $L_2$  von der durch die Gleichströme  $I_B$  und  $I_G$  hervorgerufenen Gleichstrommagnetisierung gesetzmäßig abhängig ist. Da die beiden übereinstimmend bemessenen Wechselstromwicklungen gleichsinnig hintereinandergeschaltet und die beiden ebenfalls übereinstimmend bemessenen Gleichstromwicklungen (Steuer- bzw. Rückkopplungswicklungen) ebenfalls

- 5 -

gegenseitig in Reihe geschaltet sind, so haben sich die Grundwellen und die ungeradzahigen Oberwellen der an den beiden Wechselstromwicklungen wirksamen Teilspannungen in der gegensinnigen Reihenschaltung der Steuer- bzw. Rückkopplungswicklungen auf.

Bezeichnet  $L = L_1 + L_2$  die gesamte Induktivität der in dieser Weise geschalteten gleichstromvomagnetisierten Drosselspulen und  $R$  den gesamten Wirkwiderstand des diese Drosselspulen, die Bürde  $R_B$  und den Gleichrichter  $G$  enthaltenden Wechselstromkreises, so gilt bei sinusförmigen Verlauf der Spannung  $U$  und des Stromes  $I_B$  bei der Kreisfrequenz

$$I_B = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \text{tg } (U, I_B) = \frac{L}{R}$$

Für den Fall, dass  $R$  sehr klein ist im Vergleich zu  $L$ , wird  $I_B = U/\omega L$ , wobei  $\omega L$  eine Funktion von  $I_B$  ist. Dann aus die an die Bürde  $R_B$  abgegebene Leistung  $I_B^2 R_B$  einen grösseren Wert annimmt als die in den Gleichstromstromwicklungen (Gesamtwiderstand  $R_B$ ) verbrauchte Leistung  $I_B^2 R_B$ , dann ist, abgesehen von dem Unterschied in der Stromart, eine Verstärkerwirkung vorhanden, und der Verstärkungsfaktor lässt sich durch den Ausdruck  $(I_B^2 R_B) : (I_B^2 R_B)$  definieren.

$L_1, L_2$	Gleichstromvomagnetisierte Drosselspulen
$R_B$	Bürde
$G$	Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter
$R_N$	Lebenwiderstand
$T$	Isoliertransformator
$U$	Wechselspannung
$I_B$	Eingangstrom
$I_B$	Ausgangstrom

Bild 1.

Grundschaltung eines als kontaktloses Relais wirkenden magnetischen Verstärkers.



- 6 -

Bild 2.

Ausgangsstrom  $I_B$  in Abhängigkeit vom Eingangsstrom  $I_E$  für verschiedene Werte der Betriebsspannung  $U$ , wobei das Verhältnis zwischen dem Rückkopplungs-Gleichstrom  $I_G$  und dem Ausgangs-Wechselstrom  $I_B$  konstant ist.

Bild 2 zeigt den Ausgangsstrom  $I_B$  in Abhängigkeit vom Eingangsstrom  $I_E$  für verschiedene Werte der Betriebsspannung  $U$ , wobei das für die Stärke der Rückkopplungswirkung massgebende Verhältnis zwischen den die Rückkopplungswicklungen durchfliessenden Gleichstrom  $I_G$  und dem in den Wechselstromwicklungen fliessenden Ausgangsstrom  $I_B$  konstant ist. In Bild 3 ist  $I_B$  als Funktion von  $I_E$  für verschiedene mit dem Nebenwiderstand  $R_N$  eingestellte Werte des Verhältnisses  $I_G/I_B$  bei konstanter Betriebsspannung  $U$  dargestellt. Der Verlauf der Kennlinie  $I_B = f(I_E)$  ist von der Richtung des Eingangsstromes  $I_E$  abhängig. Wenn  $I_E = 0$  ist, hat  $I_B$  einen bestimmten, von den Abmessungen und magnetischen Eigenschaften der Drosselspulen  $L_1, L_2$ , von der Höhe der Betriebsspannung  $U$  und von dem Stromverhältnis  $I_G/I_B$  abhängige Grösse, die Ruhestrom genannt werden soll. Bei positiven Werten von  $I_E$  (die Ströme  $I_E$  und  $I_G$  wirken in gleichem Sinne auf die Gleichstromvormagnetisierung) nimmt  $I_B$  mit  $I_E$  in starkem Masse zu (steil verlaufende Kennlinie), während bei negativen Werten von  $I_E$  (die Ströme  $I_E$  und  $I_G$  wirken in entgegengesetztem Sinne auf die Gleichstromvormagnetisierung) der Strom  $I_B$  zunächst bis zu einem Mindestwert abnimmt und dann in schwachem Masse wieder zunimmt (flache, fast waagrecht verlaufende Kennlinie). Der unsymmetrische Verlauf der Kennlinie  $I_B = f(I_E)$  ergibt eine richtungsabhängige Arbeitsweise dieses magnetischen Verstärkers.

- 7 -

führt (Anschluß an die Sekundärwicklung des Isolations-  
 Transformators  $I_2$  bringen, dann die übrigen Wicklungen mit einem  
 Widerstand der zum Vorwiderstand  $R_1$  des Gleichrichters  $G_1$  in  
 der Sekundärwicklung  $R_2$  in Reihe geschaltet ist, von der  
 Abkühlung ab dem Widerstand  $R_3$  der Sekundärwicklung  
 abgezogen wird.

Bild 3.

Ausgangsstrom  $I_3$  in Abhängigkeit vom Eingangsstrom  $I_1$  für ver-  
 schiedene Werte des Stromverhältnisses  $I_0/I_1$  bei konstanter Be-  
 triebsspannung  $U$ .

Bei der Schaltungsanordnung nach Bild 1 ist, wie aus Bild 3 her-  
 vorgeht, mit einer Steigerung der Rückkopplungswirkung (Kennlinien-  
 steilheit) bzw. des Verstärkungsfaktors ein Vergrössern des bei  
 $I_1 = 0$  vorhandenen Ruhestromes verbunden, der aus praktischen Grün-  
 den eine bestimmte Grösse, z.B. 10 mA, nicht überschreiten soll.

Während bei der Anordnung nach Bild 1 ein Verkleinern des Ruhe-  
 stromes nur durch ein entsprechendes Vermindern des Verstärkungs-  
 faktors erreichbar ist, kann bei den in Bild 4 und 5 dargestellten

Schaltungen der Ruhestrom unter Beibehalten eines bestimmten Ver-  
 stärkungsfaktors bzw. einer bestimmten Kennlinien-Steilheit nach  
 Bedarf verkleinert und auf verhältnismässig kleine Werte gebracht  
 werden. Dies wird dadurch erreicht, dass in den Drosselspulen

$L_1$ ,  $L_2$  durch einen Hilfstrom  $I_H$  eine zusätzliche Gleich-  
 strommagnetisierung hervorgerufen wird, die der von der Rückkopp-  
 lungsgleichstrom  $I_0$  erzeugten Gleichstrommagnetisierung entgegen-  
 wirkt. Der Hilfstrom  $I_H$  wird einem zweiten, über einen Vorwider-  
 stand  $R_4$  an die Sekundärwicklung des Isolationstransformators  $T$  ange-  
 schlossenen Gleichrichter  $G_2$  entnommen und über einen Vorwider-  
 stand  $R_5$  den Steuerwicklungen hintereinandergeschalteten Hilfswicklungen

(Bild 5) zugeführt, die Kompensationswicklungen genannt werden.  
 Während bei der Schaltung in Bild 4 der Hilfstrom  $I_H$  und der  
 Steuerstrom  $I_1$  in einer gemeinsamen Wicklungsgruppe, in den  
 Steuerwicklungen, unmittelbar überlagert werden (Stromüberlagerung)

werden bei der Schaltung in Bild 5 die Ströme  $I_1$  und  $I_H$  zwei  
 einanderunabhängigen, aber miteinander magnetisch verketteten  
 Wicklungsgruppen, den Steuer- und Kompensationswicklungen, zuge-  
 führt.

führt (Ankerwindungsüberlagerung). Getrennte Wicklungen für den Hilfstrom  $I_2$  bringen einen bestimmten Verlust an Wickelraum für die übrigen Wicklungen mit sich, haben aber den Vorzug, dass das Messen der zum Herabsetzen des Ruhestromes dienenden Teile, wie Gleichrichter  $G_H$ , Vorwiderstände  $R_V$ ,  $R_H$  und Kompensationswicklungen für  $I_2$ , von den Abmessungen bzw. von der Anpassung der Steuerwicklungen an den Widerstand des den Steuerstrom  $I_1$  führenden Eingangstromkreises vollständig unabhängig wird.

- $I_1$ ,  $I_2$  gleichstrommagnetisierte Drosselspulen
- $R_V$  Widerstand
- $G_H$  Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter
- $R_H$  Vorwiderstand
- $T$  Isoliertransformator
- $U$  Spannung
- $I_1$  Steuerstrom
- $I_2$  Hilfstrom
- $I_3$  Ausgangsstrom
- $I_4$  Rückkopplungs-Gleichstrom
- $I_5$  Hilfstrom zum Verkleinern des bei  $I_1 = 0$  vorhandenen Ruhestromes  $I_3$
- $G_H$  Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter, dem der Hilfstrom  $I_5$  entnommen wird.

$R_V$  und  $R_H$  Vorwiderstände des Gleichrichters  $G_H$ .

Bild 4. Grundschialtung nach Bild 1, bei der zwecks Verkleinerung des bei  $I_1 = 0$  vorhandenen Ruhestromes  $I_3$  ein konstanter Hilfstrom  $I_2$  den Steuerwicklungen der Drosselspulen zugeführt wird.

- 9 -

$L_1, L_2$	gleichstromvornagnetisierte Drosselspulen	
$R_3$	Stirde	
$G$	Kupferoxydul- oder Selen- Trockengleichrichter	
$R_H$	Nebenwiderstand	
$T$	Isoliertransformator	
$U$	Wechselspannung	
$I_B$	Eingangstrom	
$I_A$	Ausgangstrom	
$I_G$	Rückkopplungs-Gleichstrom	
$I_H$	Hilfgleichstrom zum Verkleinern des bei $I_B = 0$ vorhandenen Ruhe- stromes $I_B$	
$G_H$	Kupferoxydul- oder Selen- Trockengleichrichter, dem der Hilfstrom $I_H$ entnommen wird	$R_V$ und $R_H$ Vorwiderstände des Gleichrichters $G_H$ .

Bild 5. Grundschialtung nach Bild 1, bei der zwecks Verklei-  
nerungs des bei  $I_B = 0$  vorhandenen Ruhestromes  $I_B$  ein konstanter  
Hilfgleichstrom  $I_H$  den zusätzlichen Kompensationswicklungen  
zugeführt wird.

Bild 6. Kennlinien  $I_B = f(I_H)$  für den ersten Fall, dass ohne  
Hilfstrom  $I_H$  gearbeitet wird (Ruhestrom = 45 mA), und für den  
zweiten Fall, dass der Ruhestrom durch Anwenden eines ent-  
sprechend bemessenen Hilfestromes  $I_H$  auf 10 mA oder 5 mA herab-  
gesetzt wurde.

- 10 -

In Bild 6 sind die Kennlinien  $I_a = f(I_g)$  für die Fälle dargestellt, dass ohne Hilfstrom  $I_H$  gearbeitet wird (Ruhestrom 45 mA) bzw. dass der Ruhestrom durch Anwenden eines entsprechend bemessenen Hilfstroms  $I_H$  auf 10 mA oder auf 5 mA herabgesetzt worden ist.

Die gleichstromvermagnetisierte Drosselspule ist besonders in schematischen Schaltungen mit der gittergesteuerten Elektronenröhre verglichen worden /19/, wobei 1. die an der Drosselspule wirkende Wechselspannung ( $U$ ) und die Anodenspannung an der Röhre, 2. der in der Drosselspule fließende Wechselstrom ( $I_g$ ) und der Anodenstrom der Röhre und 3. der Steuergleichstrom ( $I_g$ ) und die Gitterspannung der Röhre vergleichsweise einander entsprechen. Somit entspricht der zum Herabsetzen des Ruhestromes bzw. zum Verlagern der Kennlinie dienende Hilfstrom ( $I_H$ ) der Gittervorspannung der Röhre, mit der bekanntlich ein Verlagern der Kennlinie herbeigeführt werden kann.

Bei den Anordnungen nach Bild 1, 4 und 5 ist der Ausgangstrom  $I_a$  nicht nur vom Eingangsstrom  $I_g$ , sondern auch von der Spannung, Frequenz und Wellenform der Wechselstromquelle sowie von Temperaturschwankungen und magnetischen Fremdeinflüssen in bestimmtem Masse abhängig. Die Bilder 2, 7, 8 und 9 zeigen den Spannungseinfluss (Spannungsänder  $\pm 10\%$  der Nennspannung) und den Frequenzeinfluss (Frequenzänder  $\pm 10\%$  der Nennfrequenz) bei den als kontaktloses Relais wirkenden magnetischen Verstärkern nach Bild 1, 4 und 5. Ein Wellenform-einfluss macht sich bei derartigen Schaltungen zunächst insofern bemerkbar, als die in der Wechselspannung  $U$  enthaltenen Oberwellen infolge der die Stärke der Oberwellen schwächenden induktiven Wirkung der Drosselspulen in den Ausgangsstrom  $I_a$  in entsprechend vermindertem Masse auftreten. Es zeigt sich beispielsweise, dass eine in der Wechselspannung enthaltene dritte Oberwelle in Betrage von  $10\%$  der Grundwelle ein Ändern des Ausgangsstromes von etwa  $2\%$  hervorruft. Bei den praktisch vorkommenden Wellenformverzerrungen ist der Einfluss kleiner und beträgt nur etwa  $0,5$  bis  $1\%$ .

- 11 -

Bild 10 zeigt die bei einer Anordnung nach Bild 5 gemessenen Kennlinien  $I_B = f(I_E)$  für die Temperaturen  $20^\circ \text{C}$  und  $40^\circ \text{C}$ . Der Temperatureinfluss, der hauptsächlich durch die Temperaturabhängigkeit des in dem Rückkopplungsstromkreis liegenden Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichters G hervorgerufen wird, ist verhältnismässig gross, aber beim Verwenden dieses Verstärkers als Relais durchaus zulässig.

Bezüglich des Fremdfeldeinflusses wurde festgestellt, dass bei einer Anordnung nach Bild 5 die durch ein magnetisches Gleichfeld von 5 Gauss bei ungünstiger räumlicher Lage für  $I_E = 0$  hervorgerufene Änderung des Ausgangsstromes  $I_B$  etwa  $\pm 0,1 \text{ mA}$ , d.h. etwa  $\pm 0,2\%$  des bei voller Aussteuerung fliessenden Ausgangsstromes (50 mA) beträgt, und dass weiterhin der durch ein magnetisches Wechselfeld von 5 Gauss bei ungünstiger Phasenlage für  $I_E = 0$  hervorgerufene Ausgangsstrom  $I_B$  etwa  $\pm 0,5 \text{ mA}$ , d.h. etwa  $\pm 1\%$  des bei voller Aussteuerung fliessenden Ausgangsstromes (50 mA) beträgt. Der Fremdfeldeinfluss hält sich also in erträglichen Grenzen, eine besondere magnetische Abschirmung ist nicht erforderlich. Der Einfluss einer in Steuerstrom enthaltenen Gleichstromkomponente ist gering und kann durch Parallelschalten eines Kondensators zu den Steuerwicklungen auf Null gebracht werden.

Aus diesen Angaben geht hervor, dass die einfache Verstärkeranordnung nach Bild 5 ohne weiteres als Relais benutzt werden kann, das beispielsweise mit einer Eingangsleistung von etwa 1 bis 3 m eine Ausgangsleistung von etwa 0,3 bis 1 W zu steuern ermöglicht, wobei die zwischen dem Eingangs- und Ausgangsstrom bestehende Gesetzmässigkeit durch die verschiedenartigen Einflussgrössen keine praktisch unzulässige Störung erfährt.

- 12 -

**Bild 7. Spannungseinfluss bei einem als kontaktfreies Relais wirkenden magnetischen Verstärker nach Bild 5.**

Das Diagramm zeigt den Verlauf der Spannung  $U$  über die Zeit  $t$ . Die Kurve beginnt bei einem Wert  $U_0$  und fällt dann ab, bis sie bei einem Wert  $U_1$  ankommt. Die Zeitachse ist in zwei Abschnitte unterteilt:  $t_1$  und  $t_2$ . Die Spannung  $U$  ist in zwei Abschnitte unterteilt:  $U_0$  und  $U_1$ . Die Zeit  $t_1$  ist die Zeit, die die Spannung  $U$  von  $U_0$  auf  $U_1$  benötigt. Die Zeit  $t_2$  ist die Zeit, die die Spannung  $U$  von  $U_1$  auf  $U_0$  benötigt.

**Bild 8. Frequenzeinfluss bei einem als kontaktfreies Relais wirkenden magnetischen Verstärker nach Bild 1.**

Das Diagramm zeigt den Verlauf der Frequenz  $f$  über die Zeit  $t$ . Die Kurve beginnt bei einem Wert  $f_0$  und fällt dann ab, bis sie bei einem Wert  $f_1$  ankommt. Die Zeitachse ist in zwei Abschnitte unterteilt:  $t_1$  und  $t_2$ . Die Frequenz  $f$  ist in zwei Abschnitte unterteilt:  $f_0$  und  $f_1$ . Die Zeit  $t_1$  ist die Zeit, die die Frequenz  $f$  von  $f_0$  auf  $f_1$  benötigt. Die Zeit  $t_2$  ist die Zeit, die die Frequenz  $f$  von  $f_1$  auf  $f_0$  benötigt.

**Bild 9. Frequenzeinfluss bei einem als kontaktfreies Relais wirkenden magnetischen Verstärker nach Bild 3.**

Das Diagramm zeigt den Verlauf der Frequenz  $f$  über die Zeit  $t$ . Die Kurve beginnt bei einem Wert  $f_0$  und fällt dann ab, bis sie bei einem Wert  $f_1$  ankommt. Die Zeitachse ist in zwei Abschnitte unterteilt:  $t_1$  und  $t_2$ . Die Frequenz  $f$  ist in zwei Abschnitte unterteilt:  $f_0$  und  $f_1$ . Die Zeit  $t_1$  ist die Zeit, die die Frequenz  $f$  von  $f_0$  auf  $f_1$  benötigt. Die Zeit  $t_2$  ist die Zeit, die die Frequenz  $f$  von  $f_1$  auf  $f_0$  benötigt.

- 13 -

Bild 10. Temperatureinflüsse bei einem als kontaktfreies Relais wirkenden magnetischen Verstärker nach Bild 5.

## 2. Messverstärker

Während beim Verwenden des magnetischen Verstärkers als Relais die angegebenen Änderungen des Ausgangsstromes ohne weiteres zulässig sind, weil es lediglich darauf ankommt, den im Ausgangsstromkreis liegenden Gerät, z.B. Glühlampe oder akustische Signalvorrichtung, bei einem bestimmten Wert des Eingangstromes einen zum sicheren Ansprechen dieses Gerätes ausreichenden Ausgangsstrom zur Verfügung zu stellen, werden bei einem Messverstärker bedeutend höhere Anforderungen gestellt. Hier liegt die schwierigere Aufgabe vor, einen Ausgangsstrom zu erzeugen, der praktisch nur vom Eingangstrom abhängig ist, von den verschiedenartigen Einflussgrößen jedoch nur in sehr geringem Maße, etwa  $\pm 1$  bis  $\pm 5\%$  vom Sollwert, beeinflusst wird.

Der Einfluss von Spannungsschwankungen kann dadurch wesentlich gemindert werden, dass man zwischen den Verstärker und die Wechselstromquelle einen kleinen elektromagnetischen Spannungsgleichhalter /20/ schaltet, wie er heute für Messzwecke vielfach angewendet wird. Frequenzschwankungen haben, wenn der Verstärker von einem Wechselstromnetz gespeist wird, infolge der Kleinheit der hier vorkommenden Frequenzschwankungen, etwa  $\pm 0,5$  bis  $1\%$ , keinen störenden Einfluss, zumal der Frequenzeinfluss des Verstärkers durch den des Spannungsgleichhalters nahezu ausgeglichen wird. Der Fremdfeld einfluss hält sich, wenn der Verstärker in ein



- 14 -

Eisenblechgehäuse, z.B. Zählergehäuse, eingebaut wird, in erträglichen Grenzen. Dagegen hat der hauptsächlich durch den in Rückkopplungsstromkreis liegenden Trockengleichrichter hervorgerufene  $T \cdot e \cdot m \cdot p \cdot e \cdot r a t u r e i n f l u s s$ , der durch besondere Lastschaltungen mit temperaturempfindlichen Hilfswiderständen nicht in ausreichendem Masse ausgeglichen werden kann, eine für einen Messverstärker unzulässige Größe. Hier kann Abhilfe nur dadurch geschaffen werden, dass man den in Rückkopplungsstromkreis liegenden Kupferoxydul- oder Selin-Trockengleichrichter durch einen Schwinggleichrichter /21/ ersetzt, der bekanntlich keinen störenden Temperatureinfluss verursacht, wenn seine Erregerwicklung von einem Strom durchflossen wird, dessen Phasenlage temperaturabhängig ist.

Bild 11 zeigt die Schaltungsanordnung eines magnetischen Messverstärkers, die sich von der Anordnung nach Bild 5 dadurch unterscheidet, dass der in Rückkopplungsstromkreis liegende Trockengleichrichter G durch einen von der Wechselspannung U frederregten Schwinggleichrichter SG ersetzt worden ist, dessen Erregerwicklung über einen zur Phaseneinstellung des Erregerstromes  $I_{SG}$  dienenden induktiven Vorwiderstand  $L_V$  mit der Sekundärwicklung des Spannungsgleichhalters  $T_{GC}$  (Dreischlenkeltransformator) mit Kondensator C /20/ verbunden ist. Die Phasenlage des Erregerstromes  $I_{SG}$  wird so gewählt, dass der in den Rückkopplungswicklungen fließende Gleichstrom  $I_G$  in den Eisenkernen der Drosselpulen  $L_1, L_2$  eine zusätzlich Gleichstromvormagnetisierung hervorruft, die die Wirkung der vom Steuerstrom  $I_S$  verursachten Gleichstromvormagnetisierung unterstützt (Rückkopplung). Die Bürde besteht hier beispielsweise aus einem Gleichstrommessgerät z. B. einem Drehspul-Mintensreiber, je an einen den Ausgangswechselstrom gleichrichtenden Kupferoxydul Trockengleichrichter G angeschlossen ist und von dem Gleichstrom  $I_G$  durchflossen wird, der eine eindeutige Funktion des Steuerstromes  $I_S$  ist.

In Bild 12 sind die Kennlinien  $I_B = f(I_S)$  eines derartigen magnetischen Messverstärkers für verschiedene Bürdenwiderstände

- 15 -

von 50, 100 und 400 Ohm dargestellt. Für einen bestimmten Bereich,  $I_g = 0$  bis 0,3 mA, haben diese Kennlinien einen angenähert linearen Verlauf, d.h. das in den Ausgangstromkreis liegende Messgerät, das den Steuerstrom  $I_g$  abbildet, hat einen angenähert linearen Skalenverlauf. Auf dieser Grundlage kann eine einfache Verstärkereinrichtung geschaffen werden, bei der der dem Messgerät  $M$  zugeführte Gleichstrom  $I_g$  praktisch nur von der Grösse des Steuerstromes  $I_g$  abhängig ist und von den verschiedenartigen Einflussgrössen in praktisch zulässigem Masse, etwa  $\pm 1$  bis 3 % vom Sollwert, beeinflusst wird.

- $L_1, L_2$  Gleichstromvormagnetisierte Drosselspulen
- $M$  Gleichstrom-Messgerät als Bürde
- $C$  Kupferoxydul - oder Selen-Trockengleichrichter für das Messgerät  $M$
- $SG$  Schwinggleichrichter
- $L_v$  induktiver Vorwiderstand für die Erregervicklung des Schwinggleichrichters  $SG$
- $I_{SG}$  Erregerstrom des Schwinggleichrichters  $SG$
- $R_H$  Nebenwiderstand
- $T_K C$  Spannungsgleichhalter
- $U$  Wechselspannung
- $I_D$  Eingangstrom
- $I_G$  Rückkopplungs-Gleichstrom
- $I_H$  Hilfgleichstrom zum Verkleinern des bei  $I_g = 0$  vorhandenen Ruhestromes  $I_g$
- $G_H$  Kupferoxydul - oder Selen-Trockengleichrichter, aus dem der Hilfestrom  $I_H$  entnommen wird
- $R_v$  und  $R_H$  Vorwiderstände des Gleichrichters  $G_H$ .

- 16 -

**Bild 11.** Schaltungsanordnung eines magnetischen Messverstärkers, die sich von der Anordnung nach Bild 5 dadurch unterscheidet, dass der im Rückkopplungsstromkreis liegende Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter  $G$  durch einen fremderrregten Schwinggleichrichter SG ersetzt wurde.

**Bild 2.** Kennlinien  $I_p = f(I_g)$  eines magnetischen Messverstärkers nach Bild 11 für Bürdenwiderständen von 50, 200 und 400 Ohm.

- 17 -

## MAGNETISCHER NULLSTROMVERSTÄRKER

In Zusammenhang mit Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der selbsttätigen Gleichstromkompensatoren und Kompensationsachselschreiber /22/ hat der Verfasser die Möglichkeit untersucht, das bei derartigen Messgeräten bisher erforderlichen Wechselstrom-Röhrenverstärker durch einen mit Gleichstromvorspannmagnetisierten Drosselpulen arbeitenden, vom Wechselstromnetz gespeisten Gleichstromverstärker zu ersetzen, dessen Eingang der Nullstrom unmittelbar zugeführt wird und der als magnetischer Nullstromverstärker bezeichnet werden kann. Bei dem sich selbsttätig abgleichenden Messbücken und Kompensator liegt bekanntlich die grundsätzliche Aufgabe vor, das bei einer Abweichung vom Kompensationszustand im Kompensationsstromkreis (Nullstrom) auftretende Ausgleichstrom (Nullstrom) den Eingang einer Verstärkeranordnung zuzuführen, in deren Ausgang ein gleichzeitig als Nullinstrument und Drehmotor, als Nullmotor /23/, wirkendes elektrisches Messwerk ohne mechanische Rückkraft, z.B. Induktionszähler- oder Drehspulensystem, eingeschaltet ist, das die in der Brücken- oder Kompensationschaltung vorgesehene Abgleichvorrichtung (z.B. Schleiferanordnung) im Sinne einer Herbeiführung bzw. Aufrechterhaltung des Kompensationszustandes steuert. Da derartige Kompensationsmessgeräte sich sowohl durch die Größe der Eingangs- und Ausgangsleistung des Verstärkungsfaktors und der Ansprechempfindlichkeit als auch durch die Stromart des den Nullmotor zugeführten Ausgangsstromes unterscheiden, wurden mehrere Ausführungsarten des magnetischen Nullstromverstärkers geschaffen, deren Schaltungsanordnungen, Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten in folgenden behandelt werden.

### 1. Erste Ausführungsart des einstufigen magnetischen Nullstromverstärkers

Bild 13 zeigt die Schaltungsanordnung eines vom Wechselstromnetz gespeisten magnetischen Nullstromverstärkers, der bei einer Gleichstrom-Eingangseistung von etwa 1 W voll ausgesteuert ist und

- 18 -

hierbei eine Wechselstrom-Ausgangsleistung von etwa 0,5 W zu entnehmen gestattet, wobei der die Stromwicklung eines synchron fremderregten Induktionsschalter-Messwerkes durchfließende Ausgangsstrom  $I_2$  in bezug auf Größe und Richtung bzw. Phasenlage dem Ringungsstrom  $I_0$  (Nullstrom) entspricht. Die aus der Grundschialtung nach Bild 1 hervorgegangene symmetrische Differenzschaltung besitzt zwei Paare von richtungsabhängig mit Rückkopplung arbeitenden gleichstromvermagnetisierten Drosselspulen Bild 13/,  $L_1 L_2$  und  $L_1' L_2'$  die durch den Steuerstrom  $I_0$  gleichmäßig so erregt werden, dass bei positiven Werten von  $I_0$  die Induktivität  $L_1' L_2'$  zunimmt und die Induktivität  $L_1 L_2$  abnimmt, während bei negativen Werten von  $I_0$  die Induktivität  $L_1 L_2$  zunimmt und die Induktivität  $L_1' L_2'$  abnimmt. Der Isoliertransformator T hat hierbei eine Mittelansapfung und speist mit den Teilspannungen  $U'$ ,  $U''$  die beiden Stromkreise von  $L_1 L_2$  und  $L_1' L_2'$ . In Bild 14 sind die in diesen Stromkreisen fließenden Wechselströme  $I_1$ ,  $I_2$  und der die Bürde  $R_2$  durchfließende Differenzstrom  $I_2 - I_1 = I_2'$  in Abhängigkeit von dem Steuerstrom  $I_0$  dargestellt. Die für die Bürde  $R_2$  abzugebende Kennlinie  $I_2' = f(I_0)$  geht durch Null und hat bei kleinen Werten von  $I_0$ , bei 0 bis  $\pm$  mV, ihre größte Steilheit.

Bei der aus der Grundschialtung nach Bild 3 hervorgegangenen Differenzschaltung in Bild 15 werden die bei  $I_0 = 0$  vorhandenen Ruhestrome in den Wechselstromwicklungen von  $L_1 L_2$  und  $L_1' L_2'$  durch Anwenden der Hilfgleichströme  $I_H$ ,  $I_H'$  unter Beibehalten eines bestimmten Verstärkungsfaktors bzw. einer bestimmten Kennliniensteilheit dadurch herabgesetzt, dass in den Drosselspulen  $L_1 L_2$  und  $L_1' L_2'$  durch die Hilfsströme  $I_H$ ,  $I_H'$  zusätzliche Gleichstrommagnetisierungen hervorgerufen werden, die den von den Rückkopplungsgleichströmen  $I_0$ ,  $I_0'$  erzeugten Gleichstrommagnetisierungen entgegenwirken. Die Hilfsrelais  $I_H$ ,  $I_H'$  werden einem gemeinsamen, über Vorwiderstände  $R_V$ ,  $R_V'$  an die Sekundärwicklung des mit Mittelansapfung versehenen Isoliertransformators T angeschlossenen Gleichrichter G entnommen und über Vorwiderstände  $R_H$  und über einen zum Herbeiführen der Symmetrie dienenden Schleifdrahtwiderstand  $R_0$  den in Sinne der Steuerwicklungen hintereinandergeschalteten Kompensationswicklungen zugeführt. Das Anwenden getrennter Wicklungen für die Hilfsströme  $I_H$ ,  $I_H'$  bringt auch hier einen bestimmten Verlust an Wickelraum für die übrigen Wicklungen mit sich, hat aber den Vorzug, dass die Bemessung der zur Herabsetzen der Ruhestrome dienenden Teile, wie Gleichrichter G,

Vorwiderstände

- 19 -

$E'_V$ ,  $E''_V$ ,  $E'_H$ ,  $E''_H$  und Kompensationswicklungen für  $I'_H$  und  $I''_H$  von den Abmessungen bzw. von der Anpassung der Steuerwicklungen an den Widerstand des den Steuerstrom  $I_H$  führenden Magnetstromkreises vollständig unabhängig wird. In Bild 16 sind die in den beiden von Transformator T (Teilspannungen  $V'$ ,  $V''$ ) gespeisten Stromkreisen fließenden Wechselströme  $I'_H$ ,  $I''_H$  und der die Bürde  $R_L$  durchfließende Differenzstrom  $I_D = I'_H - I''_H$  in Abhängigkeit vom Steuerstrom  $I_H$  dargestellt. Auch hier geht die für die Bürde  $R_L$  anregende Kennlinie  $I_D = f(I_H)$  durch Null und hat bei kleinen Werten von  $I_H$  ihre größte Steilheit. Allerdings ist der Bereich grösster Kennliniensteilheit hier etwas enger als bei der ohne Induktionsverkleinerung arbeitenden Differenzschaltung nach Bild 15 (vgl. Bild 14). In diesem Bereich ist der Differenzstrom  $I_D$  gegen die Teilspannungen  $V'$ ,  $V''$  um etwa  $90^\circ$  in der Phase verschoben. Der Zusammenhang zwischen dem Strom  $I_H$  und den Spannungen  $V'$ ,  $V''$  wird mit zunehmendem Steuerstrom  $I_H$  kleiner und beträgt bei voller Auslastung von  $I_H$  bis  $I_H^0$ . Diese Tatsache ist für den Verwender des Verwalters in Verbindung mit einem fremd-  
 betriebenen, als Halbleiter arbeitenden Induktionsfehler-Messwerk bedeutungsvoll, dessen Reaktionszeit hauptsächlich nicht nur von der Größe, sondern auch von der Phase Lage des der Steuerwicklung zugeführten Stromes  $I_H$  abhängig ist. Die Phasenverschiebung des die Fehlerregnung bewirkenden, in der Spannungswicklung fließenden Stromes wird hier zweckmäßig so gewählt, dass der Halbleiter bei kleinen Werten des Steuerstromes  $I_H$  ein möglichst grosses Drehmoment erzeugt und somit bei kleinen Abweichungen vom Kompensationszustand mit größtmöglicher Einwirkkraft arbeitet.

- 19 -

$E'_V$ ,  $E''_V$ ,  $E'_H$ ,  $E''_H$  und Kompensationswicklungen für  $I'_H$  und  $I''_H$  von den Änderungen bzw. von der Anpassung der Steuer-  
 richtungen an den Widerstand des den Steuerstrom  $I_S$  führenden  
 Flaggengestrichnisses vollständig unabhängig wird. In Bild 16  
 sind die in den beiden von Transformator T (Teilspannungen)  
 $U'$ ,  $U''$  gespeisten Stromkreise fließenden Wechselströme  
 $I'_H$ ,  $I''_H$  und der die Bürde  $Z_B$  durchfließende Differenzstrom  
 $I_D = I'_H - I''_H$  in Abhängigkeit vom Steuerstrom  $I_S$  dargestellt.  
 Auch hier geht die für die Bürde  $Z_B$  massgebende Kennlinie  $I_D =$   
 $f(I_S)$  durch Null und hat bei kleinen Werten von  $I_S$  ihre größ-  
 te Steilheit. Allerdings ist der Bereich grösster Kennlinien-  
 steilheit hier etwas enger als bei der ohne Induktionsverkleine-  
 rung eintretenden Differenzschaltung nach Bild 13 (vgl. Bild 14).  
 In diesem Bereich hat der Differenzstrom  $I_D$  gegen die Teil-  
 spannungen  $U'$ ,  $U''$  um etwa  $90^\circ$  in der Phase verschoben. Der  
 Phasenwinkel zwischen dem Strom  $I_D$  und den Spannungen  $U'$ ,  $U''$   
 wird mit zunehmendem Steuerstrom  $I_S$  kleiner und beträgt bei  
 voller Aussteuerung von  $I_S$  bis zu  $90^\circ$ . Diese Tatsache ist für  
 das Verwenden der Vorrichtung in Verbindung mit einem Fremd-  
 erregten, als Nullmeter arbeitenden Richtungswechsel-Messwerk  
 bedeutungsvoll, dessen Drehmoment hauptsächlich nicht nur von  
 der Stärke, sondern auch von der Phasenlage des der Strom-  
 richtung zugeführten Stromes  $I_D$  abhängig ist. Die Phasenein-  
 stellung des die Fremdregung benutzenden, in der Spannungs-  
 richtung fließenden Stromes wird hier zweckmässig so gewählt,  
 dass der Nullmeter bei kleinen Werten des Steuerstromes  $I_S$   
 ein möglichst grosses Drehmoment erzeugt und somit bei kleinen  
 Abweichungen von Kompensationszustand mit günstigerer Ein-  
 stellkraft arbeitet.

7:20 -

$L'_1, L'_2$  und  $L''_1, L''_2$  gleichstromvornagnetisierte Drosselspulen

$R_B$  Bürde

$G'$  und  $G''$  Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter

$R'_H$  und  $R''_H$  Nebenwiderstände

$T$  Isoliertransformator

$U'$  und  $U''$  Wechselspannungen

$I_B$  Eingangsstrom

$I'_B, I''_B$  und  $I_B = I'_B - I''_B$   
Ausgangsströme

$I'_G$  und  $I''_G$  Rückkopplungs-Gleichströme

Bild 13. Aus der Grundschaltung nach Bild 1 hervorgegangene symmetrische Differenzschaltung eines wagentischen Nullstrom-Verstärkers mit zwei Paaren von richtungsabhängig mit Rückkopplung arbeitenden gleichstromvornagnetisierten Drosselspulen.

Bild 14. Ausgangsströme  $I'_B, I''_B$  und  $I_B = I'_B - I''_B$  in Abhängigkeit von dem Eingangsstrom  $I_B$  bei der symmetrischen Differenzschaltung nach Bild 13.



- 21 -

$L'_1, L'_2$ und $L''_1, L''_2$	gleichstromvornagnetisierte Drosselspulen
$M_B$	Bürde
$G'$ und $G''$	Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter
$R'_H$ und $R''_H$	Nebenwiderstände
$T$	Isoliertransformator
$U'$ und $U''$	Wechselspannungen
$I_B$	Eingangsstrom
$I'_B, I''_B$ und $I_B = I'_B + I''_B$	Ausgangsströme
$I'_G$ und $I''_G$	Rückkopplungs-Gleichströme
$I'_H, I''_H$ und $I_H = I'_H + I''_H$	Hilfgleichströme zum Verkleinern der bei $I_B = 0$ vorhandenen Ruhestrome $I'_B$ u. $I''_B$ .
$G$	Kupferoxydul- oder Selen-Trockengleichrichter den der Hilfsstrom $I_H$ entnommen wird
$R'_V, R''_V$ und $R'_H, R''_H$	Vorwiderstände
$R_0$	Schleifstromwiderstände zum Herbeiführen der Symmetrie der Differenzschaltung.

Bild 15. aus der Grundschialtung nach Bild 5 hervorgegangene symmetrische Differenzschaltung eines magnetischen Nullstrom-Verstärkers, bei der die bei  $I_B = 0$  vorhandenen Ruhestrome  $I'_B$  und  $I''_B$  durch die Wirkung der Hilfgleichströme  $I'_H$  und  $I''_H$  unter Beibehalten einer bestimmten Kennliniensteilheit herabgesetzt werden.

- 22 -

Bild 16. Ausgangsströme  $I'_B$ ,  $I''_B$  und  $I_B = I'_B - I''_B$  in Abhängigkeit von dem Nüßgangstrom (Nullstrom)  $I_N$  bei der symmetrischen Differenzschaltung nach Bild 15.

Bild 17 zeigt als Anwendungsbeispiel eine zur elektrischen Fernübertragung von Zeigerstellungen dienende Schaltungsanordnung, bei der eine Gleichstrom-Brückenschaltung  $R_1 R'_1 R''_1 R_2 R'_2 R''_2$  durch ein als Nullmotor wirkendes fremderregtes Induktionszähler-Messwerk A, B, B', B'', das über einen magnetischen Nullstromverstärker nach Bild 15 mit dem Nullweig der Brückenschaltung verbunden ist, selbsttätig abgeglichen wird. Das Gebergerät M. z.B. Manometer oder Ringwaage, dessen Zeigerstellung übertragen werden soll, steuert den Schleifkontakt  $K_1$  eines Schleifdrahtwiderstandes  $K_1$ , der über drei Fernleitungen mit einer zweiten, von

- 23 -

von Nullmotor A, B, C, D befestigten Schleifdrahtanordnung  $k_1, k_2$  und den Hilfswiderständen  $r'_1, r'_2, r''_1, r''_2$  verbunden ist. Die so gebildete Brückenschaltung wird von einem über den Vorwiderstand  $R_v$  an den Transformator T angeschlossenen Trockengleichrichter G mit Gleichstrom gespeist. Die Steuerwicklungen des nach Bild 15 geschalteten magnetischen Nullstromverstärkers sind mit den beiden Schleifkontakten  $k_1, k_2$  verbunden und werden von einem der jeweiligen Abweichung vom Kompensationszustand oder von der Gleichgewichtsbedingung der Brückenschaltung in Bezug auf Grösse und Richtung entsprechenden Steuerstrom  $I_s$  durchflossen.

Der Ausgangsstrom  $I_a$  des Verstärkers wird der Stromwicklung  $3^a$  des Nullmotors mit der Ankerscheibe A und dem Bremsmagnet B über einen Kondensator C" zugeführt, dessen kapazitiver Widerstand ( $1/C''$ ) den induktiven Widerstand der Stromwicklung (L) kompensiert ( $L'' = 1/C''$ ). Die aus  $S''$  und  $C''$  bestehende Bürde entspricht somit einem reinen Wirkwiderstand  $R_{\Sigma}$ , wie er in Bild 15 angedeutet ist. Der die Stromwicklung  $3^a$  durchfliessende Ausgangsstrom  $I_a$  ist bei kleinen Abweichungen vom Kompensationszustand d.h. bei geringer Aussteuerung des Verstärkers, um annähernd  $90^\circ$  gegen die Spannungen  $U^+, U^-$  phasenverschoben. Da zwecks Erzielung eines möglichst grossen Drehmomentes des Nullmotors der die Spannungswicklung dieses Motors

- 24 -

durchfliessende Strom  $I$  angenähert um  $90^\circ$  gegen den in der Stromwicklung  $S''$  fliessenden Strom phasenverschoben sein soll, ist die Spannungswicklung  $S'$  mit einem Kondensator  $C'$  in Reihe geschaltet, dessen kapazitiver Widerstand ( $1/C'$ ) den induktiven Widerstand ( $L'$ ) der Spannungswicklung kompensiert ( $L' = 1/C'$ ), so dass der Strom  $I$  mit den Spannungen  $U', U''$  phasengleich ist.

Sind die Einstellwinkel  $\alpha_1, \alpha_2$  der Schleifkontakte  $K_1, K_2$  bzw. die diesen Winkel proportionalen Teilwiderstände  $r_1, r_2$  der Schleifdrähte  $K_1, K_2$  einander gleich, dann ist die Brückenschaltung abgeglichen, d.h. der Nullstrom ist stromlos;  $I_N = 0, I_B = 0$ . Der Nullmotor erzeugt dann kein Drehmoment. Wird aber durch Ändern der Zeigerstellung des Gebergerätes  $\mu$  bzw. des Einstellwinkels  $\alpha_1$  des Schleifkontaktes  $K_1$  das Gleichgewicht in der Brückenschaltung gestört, dann tritt ein der jeweiligen Abweichung von Gleichgewichtsstand in Bezug auf Grösse und Richtung entsprechender, die Steuerwicklungen durchfliessender Nullstrom  $I_N$  auf, der einen dieser Abweichung hinsichtlich Grösse und Richtung bzw. Phasenlage entsprechenden Ausgangsstrom  $I_B$  und ein entsprechendes Drehmoment des Nullmotors auslöst. Die Drehrichtung der Ankerscheibe  $A$  des Nullmotors wird nun so gewählt, dass  $A$  den Schleifkontakt  $K_2$  in Sinn der angestrebten Kompensationseinstellung bewegt. Dabei ist die jeweilige Drehgeschwindigkeit von  $A$  der Abweichung vom Kompensationszustand proportional. Je näher  $K_2$  an die Kompensationseinstellung herankommt, desto langsamer läuft  $A$ , ein Übererschlagen oder Ausfallen der mit  $K_2$  gekuppelten Anzeige- oder Schreibvorrichtung ist daher ausgeschlossen, wenn die Ankerscheibe durch den Bremsmagneten  $B$  in ausreichend starker Masse gedämpft wird. Die Ankerscheibe kann so bemessen werden, dass der Zeiger bzw. die Schreibfeder in etwa 5 bis 7 s über die ganze Skala bzw. nutzbare Schreibbreite läuft, und dass die Einstellzeit bei kleinen Änderungen der Zeigereinstellung des Gebergerätes  $\mu$  nur etwa 1 bis 2 s beträgt. Die betriebemässig auftretenden Spannungs- und frequenzschwankungen des den magnetischen Nullstromverstärker und den Nullmotor speisenden Wechselstromnetzes, Änderungen des Verstärkungsfaktors u.s. haben, da es sich um ein reines Nullverfahren handelt, keinen Einfluss auf die Messung.

- 25 -

$L'_1, L'_2$  und  $L''_1, L''_2$  Gleichstromvornagnetisierte Drosselspulen  
 $G'$  und  $G''$  Kupferoxydul - oder Selen-Trockengleichrichter  
 $R'_M$  und  $R''_M$  Nebensidersthide  
 $T$  Isoliertransformator  
 $U'$  und  $U''$  Wechselspannungen  
 $I_0$  Eingangsstrom (Nullstrom)  
 $I'_B, I''_B$  und  $I_B = I'_B - I''_B$  Ausgangsströme  
 $I'_G$  und  $I''_G$  Rückkopplungs-Gleichströme  
 $A, B, S', S''$  als Nullmotor wirkendes Induktionszähler-Messwerk  
 $S'$  Spannungswicklung dieses Messwerkes  
 $C'$  Kondensator für  $S'$   
 $C''$  Kondensator für  $S''$   
 $M$  Gebergerät, z.B. Manometer oder Ringwange  
 $R_1, K_1$  und  $R_2, K_2$  Schleifdrahtanordnungen m.d. veränderbaren  
 Teilwiderständen  $r_1$  und  $r_2$ , die den Ausschlag-  
 winkeln  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  der Schleifkontakte  $K_1, K_2$   
 verhältnissgleich sind.

- 26 -

$R'_1, R'_2$ und $R''_1, R''_2$	Hilfswiderstände
G	Zinnoxid- oder Selengleichrichter, der die Brückenschaltung speist.
$R_V$	Vorwiderstand für den Gleichrichter G
I	Hilfsstrom für die Spannungswicklung des Nullmotors

Bild 17. Zur elektrischen Verarbeitug von Meigerstellungen dienende Schaltungsanordnung, bei der eine Gleichstrom-Brückenschaltung  $R_1 R'_1 R''_1 R_2 R'_2 R''_2$  durch ein als Nullmotor wirkendes fremderregtes Induktionszählwerk A, B, C', C'', das über einen magnetischen Nullstrom-Verstärker nach Bild 15 mit dem Nullweig der Brückenschaltung verbunden ist, selbsttätig abgeglichen wird.

- 27 -

## 2. Zweite Ausführungsart des ein- stufigen magnetischen Nullstrom- verstärkers

In Bild 18 ist die symmetrische Differenzschaltung eines anderen, von Wechselstromnetz gespeisten magnetischen Nullstromverstärkers dargestellt, der bei einer Gleichstromeingangsleistung von etwa 5 Mikrowatt voll angesteuert ist und hierbei eine Gleichstrom-Ausgangsleistung von etwa 5 mA zu entnehmen gestattet, wobei der die Drosselspule eines Drosselstromverstärkers ohne mechanische Nichtkraft durchfließende Ausgangsstrom  $I_B$  in Bezug auf Grösse und Richtung dem Eingangstrom  $I_E$  (Nullstrom) entspricht. Auch diese Differenzschaltung besitzt zwei teure von richtungsabhängig arbeitenden gleichstromvermagnetisierten Drosselspulen  $L'_1, L'_2$  und  $L''_1, L''_2$ , die durch den Steuerstrom  $I_E$  gleichzeitig in der Weise erregt werden, dass bei positiven Werten von  $I_E$  die Induktivität  $L'_1, L'_2$  zunimmt und die Induktivität  $L''_1, L''_2$  abnimmt, während bei negativen Werten von  $I_E$  die Induktivität  $L'_1, L'_2$  abnimmt und die Induktivität  $L''_1, L''_2$  zunimmt. Die Wechselstromwicklungen der Drosselspulen sind über die Kupferoxydhalbleiterschleifengleichrichter  $G'$  und  $G''$  an die an den beiden Sekundärwicklungen des Isoliertransformators  $T$  wirkenden Spannungen  $U'$  und  $U''$  angelegt;  $U' = U''$ . Der diesen Gleichrichtern über die Vorwiderstände  $R'_V, R''_V$  entnommene Differenzstrom  $I_B = I'_B - I''_B$  wird der mit Gleichstrom zu speisenden Bürde  $h_B$  und ausserdem den in Sinne der Steuerwicklungen hintereinandergeschalteten Rückkopplungswicklungen mit Nebenwiderstand  $R_N$  zugeführt. Die Primärwicklung des Transformators  $T$  ist einerseits mit dem Wechselstromnetz, andererseits über die hochohmigen Vorwiderstände  $R'_H, R''_H$  mit einem dritten Kupferoxydhalbleiterschleifengleichrichter  $G$  verbunden, der über zwei Vorwiderstände  $R'_H, R''_H$  und über einen zum Einstellen der Schaltungsasymmetrie dienenden Schleifdrahtwiderstand  $R_0$  an die in Sinne der Steuerwicklungen hintereinandergeschalteten Polarisierungswicklungen angelegt ist;  $R'_H = R''_H$ . Die in den Polarisierungswicklungen fließenden konstanten Hilfsströme  $I'_H, I''_H$  führen eine konstante Vormagnetisierung der Drosselspulen  $L'_1, L'_2, L''_1, L''_2$  und hierdurch die erforderliche Richtungsabhängigkeit (Polarisierung) der Differenzschaltung herbei. Wenn der Steuerstrom  $I_E = 0$  ist, wird die Gleichstrommagnetisierung von  $L'_1, L'_2$  und  $L''_1, L''_2$  nur durch die konstanten Hilfsströme  $I'_H, I''_H$  hervorgerufen. In diesem Falle sind, da  $I'_H = I''_H$  und  $U' = U''$  ist, die Induktivitäten von  $L'_1, L'_2$

- 28 -

$L'_2$  und  $L'_1$   $L'_2$  einander gleich, d.h.  $I'_2 = I'_1$  und  $I_B = 0$ . Andernfalls tritt in der Bürde  $R_B$  und in den Rückkopplungswicklungen ein Differenzstrom  $I_B = I'_2 - I'_1$  auf, der in bezug auf Grösse und Richtung dem Steuerstrom  $I_S$  entspricht. Die Rückkopplungswicklungen sind so angeschlossen, dass die Gleichströme  $I_S$  und  $I_B$  auf die Drosselspulen in gleichem Sinne vor magnetisierend wirken. Die Windungszahl der Rückkopplungswicklungen wird so gewählt, dass einerseits die gewünschte Vergrösserung des Verstärkungsfaktors erreicht und andererseits die erforderliche Stabilität der Arbeitsweise gewährleistet wird, die wie bei allen Rückkopplungsschaltungen bei einer allzu starken Rückkopplung gestört werden muss. Ein Ändern des Verstärkungsfaktors kann man dadurch erreichen, dass man die Rückkopplungswicklungen durch einen veränderbaren Nebewiderstand  $R_N$  überbrückt, sodass diesen Wicklungen nur ein Teil des die Bürde  $R_B$  durchfliessenden Ausgangsstromes  $I_B = I'_2 - I'_1$  zugeführt wird. Die Kennlinie in Bild 19 zeigt, dass bei Anwenden dieser Rückkopplungsschaltung z.B. den die Bürde  $R_B = 50 \text{ Ohm}$  durchfliessenden Ausgangsstrom  $I_B = 6 \text{ mA}$  ein der Steuerwicklung (Widerstand  $R_S = 7 \text{ Ohm}$ ) zugeführte Strom  $I_S = 0,2 \text{ mA}$  zugeordnet ist, dass also der durch den Ausdruck  $(I'_2 R_B) : (I'_1 R_B)$  gegebene Verstärkungsfaktor  $(0,006^2 \cdot 50) : (0,0002^2 \cdot 7) \approx 6400$  ist.



- 29 -

$L'_1, L'_2$ und $L''_1, L''_2$	gleichstromvermagnetisierte Drosselspulen
$R_B$	Bürde
$G'$ und $G''$	Kupferoxydul-Frekongleichrichter
$R'_V$ und $R''_V$	Vorwiderstände von $G'$ und $G''$
$R_B$	Nebenwiderstand
$T$	Isolierttransformator
$U, U'$ und $U''$	Netzspannungen
$I_B$	Eingangstrom
$I'_B, I''_B$ und $I_B - I'_B - I''_B$	Ausgangsströme
$I'_H, I''_H$ und $I_H - I'_H - I''_H$	Hilfsströme zum Herbeiführen der Richtungswahlbarkeit der Differenzschaltung
$G$	Kupferoxydul-Frekongleichrichter, der der Hilfsstrom $I_H$ entnommen wird
$R'_V, R''_V$ und $R'_H, R''_H$	Vorwiderstände
$R_0$	Schleifdraht-Widerstand zum Herbeiführen der Symmetrie der Differenzschaltung

Bild 18. Symmetrische Differenzschaltung eines magnetischen Nullstrom-Verstärkers, bei der der in der Bürde  $R_B$  fließende Ausgangsgleichstrom  $I_B - I'_B - I''_B$  den in Sinne der Steuerwicklungen hintereinandergeschalteten Rückkopplungswicklungen zugeleitet wird, und zwar derart, dass die Gleichströme  $I_B$  und  $I_B$  auf die Drosselspulen  $L'_1, L'_2$  und  $L''_1, L''_2$  in gleichem Sinne vermagnetisierend wirken.

- 30 -

Die Ausgangsströme  $I'_B$  und  $I''_B$  sind in Bild 19 in Abhängigkeit von dem Eingangsstrom  $I_B$  bei der Rückkopplungsschaltung nach Bild 18. Bei  $I_B = \pm 0,2$  ist  $I_B = \pm 6$  mA, d.h.  $I'_B/I_B = 30$  und  $I''_B/I_B = 30$  und  $I'_B/I''_B = 900$ .

Bild 19. Ausgangsströme  $I'_B$ ,  $I''_B$  und  $I_B = I'_B - I''_B$  in Abhängigkeit von dem Eingangsstrom  $I_B$  bei der Rückkopplungsschaltung nach Bild 18. Bei  $I_B = \pm 0,2$  ist  $I_B = \pm 6$  mA, d.h.  $I'_B/I_B = 30$  und  $I''_B/I_B = 30$  und  $I'_B/I''_B = 900$ .

- 31 -

Bild 20 zeigt als Anwendungsbeispiel eine zur spannungsabhängigen Messung von Widerständen dienende Kompensationsmeseinrichtung, bei der eine den zu messenden Widerstand  $R_3$  (z.B. Widerstandsthermometer) enthaltende Brückenschaltung  $R_1, R_1', R_2, R_3, R_4$  durch ein mit dem magnetischen Nullstromverstärker nach Bild 18 zusammenarbeitendes, als Nullmotor wirkendes Drehpulsesswerk  $N$  ohne mechanische Richtkraft selbsttätig abgeglichen wird. Die Brückenschaltung ist abgeglichen, d.h. der Steuerstrom  $I_B = 0$ , wenn

$$(R_1' + R_1) : (R_2' + R_2) = R_3 : R_4$$

ist. Beim Ändern von  $R_3$  tritt der die Steuerwicklungen des Verstärkers durchfließende Ringstrom  $I_B$  auf, der den ihm in bezug auf Grösse und Richtung entsprechenden, dem Drehpulminstrument  $N$  zugeführten Ausgangstrom  $I_B$  hervorruft. Die Drehspule  $S$  des Drehpulsesswerkes  $N$  stellt den Schleifkontakt  $K$  des Schleifdrahtes  $R_1, R_2$  selbsttätig so ein, dass  $I_B = 0$  wird. Die Widerstandsverhältnisse in der Brückenschaltung werden nun so gewählt, dass 1. bei der dem Skalenanfang entsprechenden Schleifkontakt-einstellung, d.h. bei  $R_1' = 0$ , beim Höchstwert von  $R_2$  und beim Kleinstwert von  $R_3$ , der  $R_3$  genannt wird. (z.B.  $R_3 = 100 \text{ Ohm}$ ), die Bedingung

$$R_3 = R_4 \frac{R_1}{(R_2' + R_2')}$$

erfüllt ist, und dass 2. bei der dem Skalende entsprechenden Schleifkontakteinstellung, d.h. bei  $R_2' = 0$ , beim Höchstwert von  $R_1'$  und beim Höchstwert von  $R_3$ , der mit  $R_3' + R_3$  bezeichnet wird (z.B.

$R_3' + R_3 = 100 \text{ Ohm} + 10 \text{ Ohm} = 110 \text{ Ohm}$ ), die Bedingung

$$R_3' + R_3 = R_4 \frac{(R_1' + R_1')}{R_2}$$

erfüllt ist. Dann ist jedem Wert von  $R_3$  ein bestimmter Wert von  $R_1'$ , d.h. ein bestimmter Ausschlagwinkel des Schleifkontaktes  $K$  bzw. der Schraubfeder zugeordnet. Der Skalenverlauf ist, wenn  $R_3 = 0,1 \cdot R_3'$  ist, praktisch linear.

- 32 -

$L_1, L_2$  und  $L'_1, L'_2$  : gleichstromversorgte Drosselspulen  
 $G'$  und  $G''$  : Kupferoxyd-Blockgleichrichter  
 $R'_1$  und  $R'_2$  : Vorwiderstände von  $G'$  und  $G''$   
 $R_H$  : Nebenwiderstand  
 $T$  : Isolierttransformator  
 $U, U'$  und  $U''$  : Wechselspannungen  
 $I_H$  : Hilfstrom (Ballstrom)  
 $I_1, I_2$  und  $I_1 - I_2 - I_H$  : Ausgangsströme  
 $I'_1, I'_2$  und  $I'_1 - I'_2 + I_H$  : Hilfstöme zum Herbeiführen der richtungsabhängigkeit der Differenzschaltung  
 $\phi$  : Kupferoxyd-Blockgleichrichter, dem der Hilfstrom  $I_H$  entnommen wird  
 $R_1, R_2$  und  $R'_1, R'_2$  : Vorwiderstände  
 $R_0$  : Schleifdraht-Widerstand zum Herbeiführen der Symmetrie der Differenzschaltung  
 $M$  : Drehspul-Millinstrument ohne mechanische Rückkraft, das als Millimeter wirkt und den Schleifenkontakt K der Schleifdrahtanordnung  $M_1, M_2$  steuert  
 $R_1$  und  $R_2$  : Vorwiderstände von  $M_1, M_2$   
 $R_3$  : Widerstandsthermometer  
 $R_4$  : unveränderlicher Vergleichswiderstand  
 $R_V$  : Vorwiderstand  
 $U_M$  : Messspannung

- 33 -

$I_H$	Meßstrom
$S$	erste Drehspul-Wicklung, die von dem Ausgangsstrom $I_H$ durchflossen wird
$S_D$	$R_D$ mit der die Hilfsströme $I_H'$ , $I_H''$ führenden Wicklungsgruppe den die differenzierende Rückführung bewirkenden Strom $I_D$ zuführt.

Bild 20. Schaltungsanordnung eines zur spannungsabhängigen Messung von Widerständen ( $R_x$ ) dienenden Gleichstromkompensators, der durch ein als Nullmotor wirkendes Drehpulmeswerk ohne mechanische Rückkraft selbsttätig abgeglichen wird. Der Nullstrom  $I_D$  wird den Ringanwicklungen des magnetischen Nullstrom-Verstärkers nach Bild 18 zugeführt.

Das Messen ist grundsätzlich unabhängig von Änderungen der an der Brückenschaltung wirkenden Spannung, weil die Gleichgewichtsbedingung nur Widerstandsgrößen enthält. Unter Zugrundelegung einer der vollen Aussteuerung des Verstärkers entsprechenden Eingangsleistung von 5 W ist es beispielsweise möglich, bei einer Widerstandsthermometermessung den Messbereich 100 bis 112 Ohm (0 bis 30°C) auszuführen, wobei die Strombelastung des Platindraht-Widerstandsthermometers  $R_x$  nur etwa 5 mA beträgt, ein störender Eigenwärmefehler also nicht auftreten kann.

Die Untersuchung eines nach Bild 20 geschalteten selbsttätigen Gleichstromkompensators wurde mit einem Drehspul-Tintenschreiber (Drehspulwiderstand 50 Ohm) durchgeführt, der für den vorliegenden Zweck mit einem hochohmigen Schleifdrahtwiderstand ( $R_1 + R_2 = 200$  Ohm für eine Schleifkontaktbewegung von 90°) ausgerüstet war. Die in einer kräftigen Zapfenlagerung gelagerte Achse der Drehspule trägt einen aus zwei dünnen Platindrähten bestehenden Schleifkontakt; die Stromzuführung zur Drehspule und zum Schleifkontakt geschieht dabei über drei dünne, praktisch richtkraftfreie Metallbändchen. Die über dem durch ein Uhrwerk angetriebenen Registrierstreifen mit 120 mm ausbarer Schreibbreite sich bewegende Schreibfeder ist über einen Ellipsenlenker für linearen Skalenverlauf mit der Achse der Drehspule gekuppelt. Als Dämpfungsvorrichtung kann bei derartigen Tintenschreibern entweder eine magnetische Dämpfung, z.B. Kupfer- bzw. Aluminiumrahmen, auf dem sich die Drehspulwicklung befindet, oder kurzgeschlossene Zusatzwicklung oder eine Clamping vorgesehen werden.

- 34 -

Erkenntnis zeigte sich, dass das Schreibgerät bei dem genannten Messbereich eine praktisch vollständig ausreichende Einstellkraft entwickelt. Die Schreibfeder stellte sich in ganzen Skalenbereich auf etwa  $\pm 0,5$   $\mu$  genau ein. Die Einstellgenauigkeit beträgt also etwa  $\pm 0,5$  % vom Skalenumfang. Weiterhin wurde beobachtet, dass ein einwandfreier Einstellvorgang zunächst nur bei Anwenden einer starken Dämpfung erreichbar war, wobei die Einstellzeit etwa 5 s betrug. Wenn das Schreibgerät nicht genügend stark gedämpft ist, pendelt der Zeiger des Gerätes unaufhörlich zwischen den Zeigeranschlägen hin und her. Diese Erscheinung des Regelerschlagens, die auch bei dem sogenannten selbstkompensierenden Gleichstromverstärkern [24], insbesondere bei den mit thermischer Trägheit behafteten Kilometer-Verstärker festgestellt wurde [25], ist in vorliegendem Fall auf die durch die Induktivitäten der Stromwege des magnetischen Nullstromverstärkers verursachte magnetische Trägheit zurückzuführen, die durch eine Zeitkonstante von etwa 0,5 bis 0,5 s beschrieben werden kann. Wie bei den selbstkompensierenden Verstärkern, so kann auch bei der vorliegenden Kompensationsanordnung der Einstellvorgang durch Anwenden einer elastischen Rückführung wesentlich verbessert bzw. verkürzt werden. In Bild 20 ist eine derartige Anordnung mit differenzierender Rückführung dargestellt, bei der das Drehspulengerät H zwei voneinander isolierte und mit je zwei praktisch richtkraftfreien Stromzuführungsbleichen versehene Wicklungen besitzt, von denen die erste S von dem Ausgangsstrom  $I_0$  durchflossen wird, während die zweite  $S_D$  über einen hochohmigen Vorwiderstand  $R_D$  an die Polarisierungswicklungen angeschlossen ist. Bei dieser Wicklung angeleitete, die differenzierende Rückführung bewirkende Strom  $I_D$  entspricht jeweils der Drehgeschwindigkeit der Drehspule  $\omega$ ,  $S_D$ , die bei dem Einschwingvorgang von einem bestimmten Höchstwert ausgehend stetig abnimmt und nach Erreichen des Kompensationszustandes, d.h. bei stillstehender Drehspule, gleich Null ist. Durch Verändern der Größe des Vorwiderstandes  $R_D$  kann man den Einfluss der differenzierenden Rückführung auf den zeitlichen Verlauf des Einstellvorganges verändern und leicht erreichen, dass der Zeiger des Schreibgerätes sich periodisch einstellt, wobei die Einstellzeit nur etwa 1 s beträgt.

- 35 -

### 3. Eigenschaften und Einflussgrößen der einstufigen magnetischen Nullstromverstärker

Die beschriebenen, richtungsabhängig mit Rückkopplung arbeitenden Differenzschaltungen mit zwei Paaren von gleichstromvornormagnetisierten Drosselspulen ermöglichen die Schaffung hochempfindlicher magnetischer Nullstromverstärker, deren Eigenschaften und Einflussgrößen im folgenden gekennzeichnet sind:

Die Verstärker sind werden eine durch Null gehende Kennlinie  $I_p = f(I_g)$  auf, die bei kleinen Werten von  $I_g$ , d.h. bei kleinen Abweichungen vom Sättigungszustand, ihre größte Steilheit hat und hier den Höchstwert des Verstärkungsfaktors ergibt. Der durch das Verhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangsleistung definierte Verstärkungsfaktor, der in den Bereich der größten Kennlinienstilheit seinen Höchstwert hat, kann auf Werte von 1000 bis 3000 bzw. 4000 bis 10 000 gebracht werden, die zum Betätigen von Nullstörern ausreichen. Die Verstärker sind bei einer Eingangsleistung von etwa 1 mW bzw. 5 mW vollausgesteuert und erzeugen hierbei eine Ausgangsleistung von etwa 0,5 W bzw. 5 mW (Verstärkungsfaktor 500 bzw. 1000). Ihre Ansprechempfindlichkeit beträgt etwa  $10^{-8}$  W bzw.  $10^{-11}$  W. Die Nullpunktsicherheit, die darin besteht, dass der magnetische Verstärker beim Eingangsstrom Null keinen sich in unzulässigen Masse auswirkenden Ausgangsstrom hervorruft und in derselben Größenordnung wie die Ansprechempfindlichkeit liegen soll, ist für die praktische Brauchbarkeit eines derartigen Verstärkers von entscheidender Bedeutung. Die Auswirkung der verschiedenartigen in Betracht kommenden Einflussgrößen auf die Nullpunktsicherheit liegt innerhalb der praktisch zulässigen Grenzen.

Die Zeitkonstanten der einzelnen Stromkreise des magnetischen Nullstromverstärkers können so gewählt werden, dass störende Verzögerungserscheinungen nicht auftreten. Die Minsteilzeit des Verstärkers mit einem im Ausgangsstromkreis liegenden Strommesser beträgt bei dem Verstärkungsfaktor 50 nur etwa 0,5 s.

- 36 -

Eine störende Beeinflussung der Nullpunktsicherung durch magnetische Hysterese tritt nicht auf. Bei der angewendeten Wechselstrommagnetisierung mit etwa 3000 Gauss und den in Betracht kommenden Gleichstrommagnetisierungen sind Hystereserscheinungen nicht nachweisbar.

#### 4. Bauliche Ausführungs der einstufigen magnetischen Nullstromverstärker

Wie aus Bild 21 zu ersehen ist, sind die vier Drosselspulen  $L_1^I, L_1^{II}, L_2^I, L_2^{II}$ , die drei Kupferoxydul-Freewheelgleichrichter  $G^I, G^{II}, G$ , der Isolierttransformator T, der als Nullpunktsteller dienende Schleifdrahtwiderstand  $R_1$  und die einzelnen Hilfswiderstände  $R_1^I, R_1^{II}, R_2^I, R_2^{II}, R_3^I, R_3^{II}$  des nach Bild 15 bzw. 18 konstruierten einstufigen magnetischen Nullstromverstärkers in ein Zählgehäuse eingebaut, das die Abmessungen  $23 \times 16 \times 15 \text{ cm}^3$  hat. Eine merkliche Erwärmung dieser Teile tritt nicht auf, da der Eigenverbrauch dieser Verstärker nur etwa 2 bis 4 VA beträgt. Die Verstärker können durch entsprechendes Bemessen der Eingangs- und Ausgangswicklungen den jeweils vorliegenden Widerstandsverhältnissen des Eingangs- (Steuer-) und Ausgangs- (Folien-) Stromkreises leicht angepasst werden.

#### 5. Zweistufige magnetische Nullstromverstärker

Wenn man in den Ausgangsstromkreis eines als Eingangsstufe wirkenden Nullstromverstärkers die Steuerwicklungen eines zweiten derartigen Verstärkers, der als Ausgangsstufe wirkt, einfügt, gelangt man zu einem zweistufigen magnetischen Nullstromverstärker, dessen Verstärkungsfaktor gleich dem Produkt der Verstärkungsfaktoren der Eingangs- und Ausgangsstufe ist. Eine solche Anordnung hat den Verstärkungsfaktor  $10^7$ , der mit einem zweistufigen magnetischen Verstärker erstreblich erreicht werden konnte.



- 57 -

In Bild 22 ist als Beispiel ein zweistufiger magnetischer Nullstromverstärker in Kaskadenanordnung dargestellt, der aus zwei Differenzschaltungen nach Bild 13 besteht, die über einen gemeinsamen Isoliertransformator T mit zwei voneinander isolierten Sekundärwicklungen an das Wechselstromnetz angeschlossen sind. Die Bürde  $R_B$  liegt hier an der Sekundärwicklung eines Differenztransformators  $T_D$ , dessen voneinander isolierte Primärwicklungen von den beiden Teilströmen  $I_B^I$  und  $I_B^{II}$  der Ausgangsstufe durchflossen werden. Die beiden Teilströme der Eingangsstufe werden durch die Gleichrichter  $G^I, G^{II}$  gleichgerichtet und als Gleichströme  $I_G^I, I_G^{II}$  in den eine Gleichstrombürde darstellenden Steuerwicklungen der Ausgangsstufe überlagert, sodass in diesen Steuerwicklungen der Differenzstrom  $I_D = I_G^I - I_G^{II}$  fliesst.

Selbstverständlich ist die Nullpunktsicherheit bei einer derartigen, auf eine besonders hohe Verstärkung gestalteten zweistufigen Nullstromverstärker geringer als bei den beschriebenen einstufigen Anordnungen, weil sich die verschiedenartigen Einflussgrößen bei einer mehrstufigen Anordnung stärker bemerkbar machen. Der zweistufige magnetische Nullstromverstärker nach Bild 22 mit einem Verstärkungsfaktor von  $10^7$ , dessen Kennlinien  $I_B = f(I_G)$  für die Bürdenwiderstände  $R_B = 100 \text{ Ohm}$  und  $R_B = 400 \text{ Ohm}$  in Bild 23 dargestellt sind, ist für kurzzeitige Messungen, bei denen keine stärkeren Temperaturschwankungen vorkommen, praktisch brauchbar, zumal der Nullpunkt jederzeit leicht kontrolliert und durch Verändern eines als Nullpunktsteller dienenden, stetig regelbaren Hilfswiderstandes in einfacher Weise nachgestellt werden kann. Die zweistufigen Anordnungen dürften für solche Sonderaufgaben in Betracht kommen, bei denen es weniger auf eine vorzügliche Konstanz des Nullpunktes als auf einen grossen Verstärkungsfaktor ankommt, beispielsweise auch für Relaisanordnungen, denen ein Ausgangsstrom von veränderlicher Richtung entnommen wird, wobei der Ausgangsstrom dem Eingangsstrom in bezug auf Grösse und Richtung entspricht.

- 38 -

$I_0 = I_1 = I_2$  Ein Magnetron der Bauart 204117

Bild 20. Flussdichteverteilung eines zweistufigen magnetischen Ringkern-Strahlröhren, der aus zwei symmetrischen Diff.-2. Ordnung nach Bild 1 besteht.

**Bild 21. Realische Ausführung eines nach Bild 15 bzw. 16 geschalteten einstufigen magnetischen Elektronen-Verstärkers.**

Realisierung des einstufigen  $I_0 = f(I_1)$  oder einstufigen Magnetron-Verstärkers. In Abbildung 21 ist die Realisierung nach Bild 20 dargestellt. Die Realisierung des einstufigen Magnetron-Verstärkers ist in Abbildung 21 dargestellt.

Abbildung 21. Realisierung des einstufigen Magnetron-Verstärkers.

Abbildung 21. Realisierung des einstufigen Magnetron-Verstärkers. In Abbildung 21 ist die Realisierung nach Bild 20 dargestellt.

$L_1, L_2$  und  $L_3, L_4$  gleichstromverspannungsgestützte Drosselspulen der Eingangsstufe  
 $L_5, L_6$  und  $L_7, L_8$  gleichstromverspannungsgestützte Drosselspulen der Ausgangsstufe  
 $G_1, G_2, G_3$  und  $G_4$  Kupferoxyd- oder Selen-Trockengleichrichter der Eingangsstufe  
 $G_5$  und  $G_6$  Kupferoxyd- oder Selen-Trockengleichrichter der Ausgangsstufe  
 $T$  Isoliertrennschalter  
 $R_p$  Drossel  
 $T_D$  Differenztransformator  
 $I_1, I_2$  und  $I_3 = I_4 = I_5$  Ausgangsströme  
 $I_0$  Eingangstrom der Eingangsstufe

- 39 -

$I_p = I_f - I_g$  Ringgeschlossener oder Ausgangsstufe

**Bild 22. Totschaltung eines zweistufigen magnetischen Hallstrom-Verstärkers, der aus zwei symmetrischen Differenzschaltungen nach Bild 1 besteht.**

Die Totschaltung ist eine Schaltung, bei der der Verstärker in einen Zustand versetzt wird, in dem er keine Verstärkung mehr leistet. Dies geschieht durch das Einschalten eines Widerstandes, der die Verstärkung des Verstärkers auf Null setzt. Die Totschaltung ist eine wichtige Funktion eines Verstärkers, um ihn in einen Zustand versetzen zu können, in dem er keine Verstärkung mehr leistet. Dies ist zum Beispiel bei der Wartung oder Reparatur des Verstärkers notwendig. Die Totschaltung ist eine einfache Schaltung, die aus einem Widerstand und einem Schalter besteht. Der Widerstand ist an den Eingang des Verstärkers angeschlossen, und der Schalter ist an den Ausgang des Verstärkers angeschlossen. Wenn der Schalter geschlossen ist, fließt Strom durch den Widerstand, und der Verstärker wird in einen Zustand versetzt, in dem er keine Verstärkung mehr leistet. Wenn der Schalter geöffnet ist, fließt kein Strom durch den Widerstand, und der Verstärker arbeitet normal.

**Bild 23. Kennlinie  $I_p$  nach Bild 1 für einen zweistufigen magnetischen Hallstrom-Verstärker in Totschaltung nach Bild 22. Für die Stromspannungskennlinie  $I_p = 100$  und einen Verstärkungsfaktor von  $10^7$  mit der Schichtabstandsdifferenz  $\Delta z = 10^{-4}$  cm.**

#### ANWENDUNGSGEBIETE MAGNETISCHER VERSTÄRKER

Zahlreich sind die Anwendungsgebiete der beschriebenen magnetischen Verstärker; diese können in Verbindung mit Kompensations- und Brückenschaltungen aller Art, insbesondere auch bei selbsttätig abgleichenden Messbrücken und Kompensatoren, benutzt werden.

Bei den auf dem **WERNER-VERFAHREN** <sup>127/</sup> beruhenden selbsttätigen Gleichstromkompensatoren, die bekanntlich zur leistungsfreien Messung von Strömen und Spannungen und zum Messen von sehr kleinen, z.B. von elektrischen Messgeräten erzeugten Drehmomenten verwendet werden, kann man den einem Kompensationsstromverstärker <sup>72/</sup> mit Potentiometer- oder Photoszellenanordnung oder dgl. entnommenen Gleichstrom den Steuervicklungen des magnetischen Verstärkers zuführen; den Ausgangsgleichstrom dieses beispielsweise nach Bild 18 geschalteten Verstärkers kann man

- 40 -

zur Speisung des die zu messende Grösse anzeigenden, aufzeichnenden oder integrierenden Strommesser und des Kompensationswiderstandes verwenden. An letzterem wird die zur Kompensation der zu messenden Spannung dienende Vergleichsspannung oder der zur Kompensation des zu messenden Stromes bzw. Drehmomentes dienende Vergleichsstrom abgenommen.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den den Kompensationsmessverstärker entnommenen und der zu messenden Grösse verhältnismäßigen Gleichstrom mit einem auf dem *Schleifdrahtverfahren* 329/ beruhenden selbsttätigen Gleichstromkompensator mit einem magnetischen Verstärker fortlaufend zu messen und an einer von einem Nullaktor gesteuerten und von einem konstanten Strom durchflossenen Schleifdrahtanordnung mit Anzeige- oder Schreibwert als Schleifdrahtlänge bzw. Ausschlagswinkel eines Schleifkontaktes linear abzubilden. Hierbei wird der dem Kompensationsmessverstärker entnommene Gleichstrom oder ein von ihm an einem Hilfswiderstand hervorgerufener Spannungsfall oder die von ihm durch eine Mantelwicklung erzeugte elektromagnetische Wirkung selbsttätig kompensiert durch eine entsprechende, mit der Schleifdrahtanordnung stetig regelbare Vergleichsgrösse, wobei die beiden durch Strom-, Spannungs- oder Amperewindungsüberlagerung gegeneinander kompensierten Grössen gleichseitig und in entgegengesetzten Sinne auf die Steuerwicklungen der beiden Drosselpulenpaare des magnetischen Nullstromverstärkers einwirken.

Die Steuerwicklungen der beschriebenen magnetischen Verstärker, die der Wicklung eines Nullgalvanometers entsprechen, können, wie dies in den beiden Anwendungsbeispielen nach Bild 17 und 20 dargestellt ist, aus einer einzigen Wicklungsgruppe bestehen, die von dem in dem Nullstromkreis der Kompensations- oder Brückenschaltung fliessenden Ausgleichstrom durchflossen wird. Um bei Summen- und Differenzschaltungen eine Summen- bzw. Differenzbildung von Strömen oder Spannungen zu ermöglichen, kann man die auf die Drosselpulenpaare des magnetischen Verstärkers gleichseitig einwirkenden Steuerwicklungen durch mehrere magnetisch verkettete Wicklungsgruppen ersetzen, denen mehrere miteinander zu vergleichende Ströme einzeln zugeführt werden. Beispielsweise können diese Ströme wie folgt

- 41 -

ähnlich wie bei einem Differentialgalvanometer aus zwei gleichartigen Icklungen, z.B. aus zwei isolierten, gleichzeitig aufgewickelten Drähten, bestehen, in denen zwei miteinander zu vergleichende Ströme, etwa die beiden Zweigströme einer Differenzschaltung, fließen. Bei Gleichheit dieser beiden Ströme sind die resultierenden Asperewindungen der Steuerwicklungen und der Ausgangstrom des magnetischen Verstärkers gleich null; andernfalls ergibt sich ein den Hinderniswiderstand durchfließender Ausgangstrom, der hinsichtlich GröÙe und Richtung der jeweiligen Differenz dieser beiden Ströme entspricht. Derartige Schaltungen sind auch für *P e r m e a s s u n g e n* /30/ verwendbar.

Die Anwendungsmöglichkeiten der beschriebenen, an sich als Gleichstromverstärker wirkenden magnetischen Verstärker erstrecken sich auch auf viele Gebiete der *W e c h s e l s t r o m - m e s s - t e c h n i k*. Hier können die verschiedenartigen Wechselstromgrößen um ihre Wirk- und Blindkomponenten mit phasenhängig arbeitenden Gleichrichtereinrichtungen in entsprechende Gleichstromgrößen umgeformt und dann mit den erwähnten, für Gleichstrommessungen üblichen Verfahren gemessen werden.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Durch besondere Schaltungsanordnungen mit entsprechend bemessenen Gleichstromvormagnetisierten Drosselapulen ist es möglich, mit verhältnismäÙig schwachen Gleichströmen bedeutend stärkere Wechselströme gesetzmäÙig zu vergrößern und auf diese Weise eine Verstärkerwirkung zu erreichen. Hierbei ist der Verstärkungsfaktor definiert durch das Verhältnis zwischen der den Stromverbraucher, z.B. Glühlampe, Heißdraht oder dergleichen, zugeführten Ausgangsleistung und der aus der Stärke des Steuer Gleichstromes und dem Widerstand der Steuerwicklung sich ergebenden Eingangsleistung.

Nach einem geschichtlichen Überblick über die Entwicklung dieser mit Gleichstromvormagnetisierten Drosselapulen arbeitenden sogenannten magnetischen Verstärker, die vielfach auch Eisenverstärker genannt werden, werden folgende Ausführungsarten von magnetischen Verstärkern und ihre Einflüsse beschrieben:

- 42 -

1. Als kontaktfreies Relais wirkende magnetische Verstärker, mit denen durch Ein- und Ausschalten oder durch Verändern eines den Steuerwicklungen zugeführten Eingangsstromes ein bedeutend stärkerer Ausgangsstrom gesetzlich beeinflusst und beispielsweise mit einer Eingangsleistung von etwa 1 bis 3 mW eine Ausgangsleistung von etwa 0,3 bis 1 A gesteuert werden kann. Die zwischen dem Eingangs- und Ausgangsstrom bestehende Gesetzmäßigkeit erfährt durch die in Betracht kommenden Einflussgrößen keine praktische unsaltzige Störung, zumal es bei der Verwendung eines magnetischen Verstärkers als Relais lediglich darauf ankommt, das in Ausgangsstromkreis liegenden Gerät bei einem bestimmten Wert des Eingangsstromes einen zum sicheren Anprechen dieses Gerätes ausreichenden Ausgangsstrom zur Verfügung zu stellen.

2. Magnetischer Messverstärker, der ermöglicht, einen z.B. einen Drehzahl-Tastenschreiber oder Gleichstrom-Amperestundenzähler auszuführendes Ausgangsstrom zu erzeugen, der praktisch nur vom Eingangsstrom abhängig ist, von den verschiedenartigen Einflussgrößen jedoch nur in sehr geringem Masse, etwa 1 % bis 3 % vom Sollwert, beeinflusst wird. Zur Beseitigung des Spannungseinflusses ist ein kleiner elektromagnetischer Spannungsgleichhalter vorgesehen, der auch den Einfluss von Frequenzschwankungen nahezu ausgleicht. Um den hauptsächlich durch den in Rückkopplungsstromkreis liegenden Kupferoxydul- oder Salen-Trockengleichrichter hervorgerufenen Temperatureinfluss, der auch durch besondere Anschaltungen mit temperaturempfindlichen Hilfswiderständen nicht in ausreichendem Masse ausgeglichen werden kann, auf die bei einem Messverstärker zulässige GröÙe zu bringen, wurden dieser Gleichrichter durch einen synchron erregten Schwingungsgleichrichter ersetzt, der bekanntlich keinen störenden Temperatureinfluss verursacht, wenn seine Erregerwicklung von einem Strom durchflossen wird, dessen Phasenlage temperaturunabhängig ist.

- 43 -

3. Erste Ausführungsart eines einstufigen magnetischen Nullstrom-Verstärkers für mit einem Wechselstrom-Nullmotor (Induktionsmotor-Motorwerk) arbeitende selbsttätige Messbrücken und Kompensationen, der bei einer Gleichstrom-Eingangseistung von etwa 1 mW voll angetrieben ist und hierbei eine Wechselstrom-Ausgangsleistung von etwa 0,5 W zu entnehmen gestattet, wobei der Ausgangsstrom in Bezug auf Größe und Richtung bzw. Phasenlage dem Eingangsstrom (Nullstrom) entspricht. Bei kleinen Aussteuerungen bzw. geringen Abweichungen vom Kompensationszustand ist der Verstärkungsfaktor gleich 1000 bis 3000. Die Auswirkung der verschiedenartigen Einflussgrößen auf die Nullpunktstabilität liegt innerhalb der praktisch zulässigen Grenzen.
4. Zweite Ausführungsart eines einstufigen magnetischen Nullstrom-Verstärkers für mit einem Gleichstrom-Nullmotor (Drehspul-Motorwerk) ohne mechanische Rückkraft) arbeitende selbsttätige Messbrücken und Kompensationen, der bei einer Gleichstrom-Eingangseistung von etwa 5 Mikrowatt voll angetrieben ist und hierbei eine Gleichstrom-Ausgangsleistung von etwa 5 mW zu entnehmen gestattet, wobei der Ausgangsstrom in Bezug auf Größe und Richtung dem Eingangsstrom (Nullstrom) entspricht. Bei kleinen Aussteuerungen bzw. geringen Abweichungen vom Kompensationszustand ist der Verstärkungsfaktor gleich 6000 bis 10 000. Die Auswirkungen der verschiedenartigen Einflussgrößen auf die Nullpunktstabilität liegt auch hier innerhalb der praktisch zulässigen Grenzen.
5. Zweistufige magnetische Nullstrom-Verstärker zur Lösung von solchen Sonderaufgaben, bei denen es vorzuziehen ist auf eine vorzügliche Konstanz des Nullpunktes als auf einen sehr grossen Verstärkungsfaktor ankommt, z.B. für kurzzeitige Messungen oder für Meldeeinrichtungen. Derartige Anordnungen (Ankerschaltungen) bringen den Verstärkungsfaktor  $10^7$ , der mit einem zweistufigen magnetischen Verstärker erstmalig erreicht werden konnte.

- 44 -

Die beschriebenen magnetischen Verstärker, die zahlreiche Anwendungsgebiete in der Mess- und Regeltechnik haben, bieten die wertvolle Möglichkeit, einerseits die durch Einführen der Elektroenröhre in die Mess- und Regeltechnik gebrachten Vorteile mit Ersatz der intermittierend arbeitenden Verfahren durch stetige beizubehalten, anderseits über die mit Verstärkerenröhren auf manchen Anwendungsgebieten verbundenen Mangelerscheinungen, wie begrenzte Lebensdauer der Röhren, Nachteile der Röhren bei rauen Betriebsverhältnissen, Schwierigkeiten beim Verstärken kleiner Gleichspannungen, zu vermeiden. Die magnetischen Verstärker, die rein elektrisch, also ohne irgendwelche mechanisch bewegten Teile, gearbeitet werden, künftighin Anwendung unterworfen sind und sich somit durch besondere Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit auszeichnen, dürfen daher für die Mess- und Regeltechnik eine große Bedeutung erlangen.

#### Die Quellen

- /1/ G. HOFFMANN, Gleichstromvermagnetisierte Drosselspulen. RTZ 58 (1937) S. 997 u. 999. - Beitrag zur qualitativen Theorie gleichstromvermagnetisierter Eisen-Drosselspulen. Arch. Elektrotechn. 59 (1937) S. 41. W. SCHURCK, Der Techn. Klass einer Eisen-Drosselspule mit überlageter Gleichstromvermagnetisierung. Arch. Elektrotechn. 52 (1933) S. 428. Th. WASSERBA, Zur qualitativen Theorie gleichstromvermagnetisierter Eisen-Drosseln. Arch. Elektrotechn. 51 (1937) S. 814. W. HANDEL, Überschlägige Berechnung von Gleichstromvermagnetisierten Drosseln. Arch. Elektrotechn. 55 (1938) S. 585. K. KRAUS, Die Verstärkerdrossel. Arch. Elektrotechn. 55 (1939) S. 777.
- /2/ J. HYOTIN, DEP 149 701 vom 25. VIII. 1902.
- /3/ J.M.A. JULY, Franz. Patent Nr. 418 909 vom 22. III. 1910 und Ind. electr. 14 (1911) S. 195.
- /4/ G. VALLAURI, RTZ 32 (1911) S. 988 und Electrician 68 (1912) S. 582.
- /5/ Arch. Elektrotechn. 2 (1911) S. 343.
- /6/ L. BLAS, DEP 272 746 vom 21.8.1913 und EPS 40 (1919) S. 436; vergl. auch G. KUNATH, Arch. techn. Messen, Blatt V 3212 (Dezember 1932).
- /7/ A. KOTTSTIEPH, Arch. techn. Messen, Blatt V 3216 bis 1 (August 1933).
- /8/ E. KRAMER, RTZ 58 (1937) S. 1309; 59 (1938) S. 1295 und Arch. techn. Messen, Blatt V 3213 bis 3 (November 1939).



- 45 -

- /9/ H. RITZ, Arch. techn. Messen, Blatt V 3213 bis 2 (September 1938)
- /10/ E.F.W. ALEXANDERSON, USA. Patente Nr. 1206 643 vom 7.12.1912 und Nr. 1 328 610 vom 21.1.1916; vergl. auch DRP 305 162 vom 2.5.1917 und DRP 615 135 vom 26.1.1930. E.F.W. ALEXANDERSON und S.P. NIXON/M., Proc. Institut Radio Engrs., N.Y. 4 (1918) S. 101.
- /11/ L. KÖHN, RTZ 35 (1914) S. 816 und 76. drahtlose Telegr. 9 (1915) S. 502; vergl. auch A. PETER, Elektr. Nachr.-techn. 2 (1925) S. 96; A. HORN, Hochfrequenz-Messtechnik, 2. Aufl., Verlag J. SPRINGER, Berlin 1928, S. 77.
- /12/ L. MANDALSTAM und M. PARLXI, DRP 496 vom 22.IX 1927; vergl. J. EMMERT, Messbrücken und Kompensatoren, Band 1, Verlag R. OLSEN, München und Berlin 1935, S. 238.
- /13/ Th. THOMAS, USA-Patent Nr. 1 750 254 vom 3. V. 1928; vergl. auch DRP 678 475 vom 23.4.1929.
- /14/ M. STERNBERG und O. SCHMUTZ, Siemens-Z. 15 (1935) S. 201.
- /15/ A.S. Fitzgerald, Electr. Wld. N.Y. 107 (1937) S. 1592 und Electronics N.Y. 10 (1937) S. 28; Referat in RTZ 59 (1938) S. 1221. Vergl. auch DRP 650 553 vom 1.7.1933 (Priorität Grossbritannien vom 1.VII. und 3.IX. 1932 und 3.XII. 1932) und Franz. Patent Nr. 796 675 vom 25.7.1933 (Priorität V.S. America vom 23.VII. 1934).
- /16/ S. RAJNATH, Messung von Gleichströmen durch Vormagnetisierung von Wechselstrom-Drosseln. Arch. techn. Messen, Blatt V 3210 bis 1 (März 1935); vergl. auch: DRP 386 332 vom 1.IX.22
- /17/ P.H. DOWLING, USA-Patent Nr. 1 739 579 vom 20.VI. 1928; O. SCHMUTZ, DRP 667 679 vom 28.VIII. 1932; E.F. MURPHY, USA-PATENT Nr. 2 164 383 vom 19.III.1934; Franz.-Patent Nr. 831 459 vom 30.XII.1937 (Priorität USA vom 2.1.1937); Schweiz.-Patent Nr. 200 465 vom 2.VI. 1937 (Priorität Schweden, 10.XII.1936); Brit.-Patent Nr. 499 960 vom 15.VI. 1937 (Priorität Schweden, 10.VII.1936); Franz.-Patent Nr. 842 672 vom 18.II.1938.
- /18/ Vergl. G. HAUFFE, RTZ 58 (1937) S. 938.
- /19/ Vergl. G. HAUFFE, RTZ 58 (1937) S. 939.
- /20/ Vergl. S. GYGER, Selbsttätige Strom- und Spannungsregler, Beschreibung, Eigenschaften und Fortschritte der elektromagnetischen Verfahren. Arch. techn. Messen, Blatt J 062-7 (November 1937), J 062-8 (Dezember 1937), J 062-15 (Februar 1937), und Elektromagnetische Spannungs-Gleichhalter für Messzwecke. Siemens-Z. 15 (1935) S. 4.64.

- 46 -

- 721/ Vergl. H. FRANK-MÜLLER, Mechanische Gleichrichter für Messzwecke. Arch. techn. Messen, Blatt Z 540 - 1 (Februar 1932).
- 722/ Vergl. A. GEYGER, Gleichstrom-Kompensatoren mit selbsttätiger Abgleichung. Arch. techn. Messen, Blatt J 932 - 1 (März 1936) und J 932 - 2 (Mai 1936); F. RICHMANN, Kompensationsgeräte mit selbsttätiger Abgleichung. Arch. techn. Messen Blatt J 634 - 1 (Dezember 1936) und J 634 - 2 (Juni 1937).
- 723/ Vergl. A. GEYGER, selbsttätige Abgleichung von komplexen Kompensation- und Brückenschaltungen mit phasenabhängigen Nullmotoren. Arch. Elektrotechn. 29 (1935) S. 842. - Ein neuer Kompensations-Schnellschreiber für Gleichstrommessungen. Arch. Elektrotechn. 29 (1935) S. 850. - Ein einfacher Kompensator - Schnellschreiber für Gleichstrommessungen. Wiss. veröff. Siemens-Werk IV (1936) S. 109.
- 724/ Vergl. L. MERZ, Theorie der selbstkompensierenden Gleichstrom-Verstärker mit direkt wirkender mechanischer Steuerung. Arch. Elektrotechn. 31 (1937) S. 1.
- 725/ Vergl. L. MEKZ, u.H. NIEBEL, Messung kleiner Ströme und Spannungen und kleiner Längenänderungen mit dem bolometrischen Kompensator. Wiss. Veröff. Siemens-Werk XVIII/2 (1939) S. 23.
- 726/ Vergl. H. FRANK-MÜLLER, Elektrische Messgleichrichter. Arch. techn. Messen, Blatt Z 50 - 1 (Mai 1937). - Kupferoxydal-Gleichrichter für Messzwecke. Arch. techn. Messen Blatt Z 52 - 2 (September 1937).
- 727/ Vergl. A. GEYGER, Gleichstrom-Kompensatoren mit selbsttätiger Abgleichung, Strommesser-Verfahren, Arch. techn. Messen Blatt J 932 - 2 (Mai 1936).
- 728/ Vergl. z.B. H. BRILL, Bolometer-Verstärker, Arch. techn. Messen Blatt Z 64 - 1 (August 1934); L. MERZ, Bolometer-Verstärker, Neuerungen. Arch. techn. Messen, Blatt Z 64-2 (Februar 1937); L. MEKZ, Licht-elektrische Gleichstrom-Verstärker, Arch. techn. Messen, Blatt Z 64 - 3 (Dez. 1937); L. BRANDENBURGER, Gleichstrom-Verstärker mit durch Hochfrequenz gesteuerten Regelorgan, Arch. techn. Messen Blatt Z 64 - 3 (November 1936); J. BORG, VEB-Veröffentlichung 10 (1938) S. 111 bis 113, L. BRANDENBURGER, JOM, Siemens-Z. 20 (1940) S. 93.
- 729/ Vergl. GEYGER, Gleichstrom-Kompensatoren mit selbsttätiger Abgleichung, Schleifdraht-Verfahren, Arch. techn. Messen Blatt J 932 - 1 (März 1936).
- 730/ Vergl. E. GEYGER, Fernübertragung von Messwerten mit Widerstands-Gebern, Kompensationsverfahren, Arch. techn. Messen, Blatt V 3821 - 3 (Februar 1936).

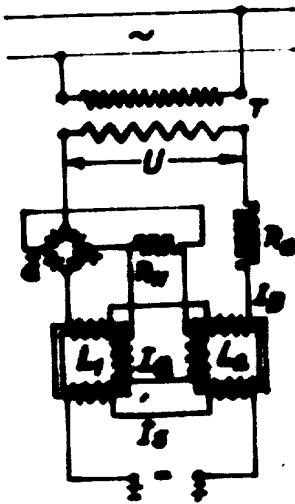


Bild 1.

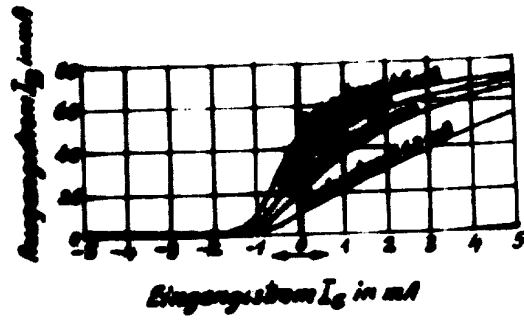


Bild 3.

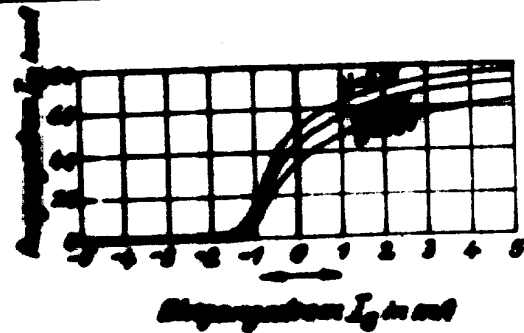


Bild 2.

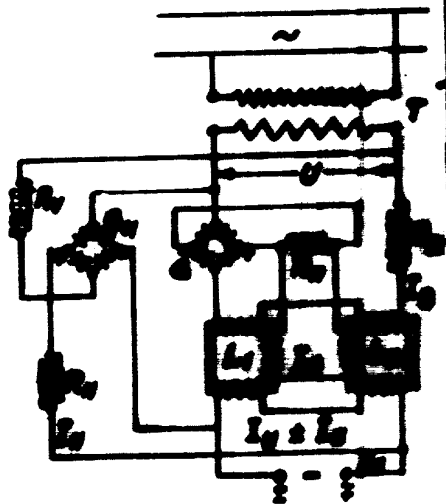


Bild 4.

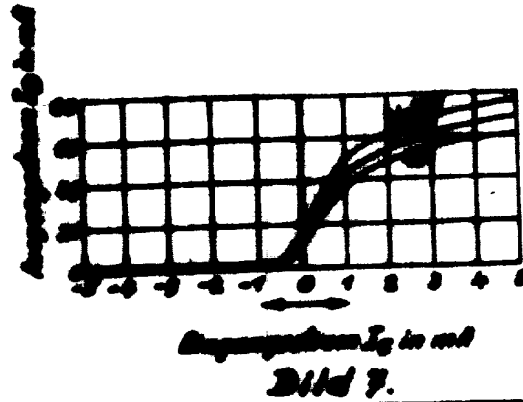


Bild 7.

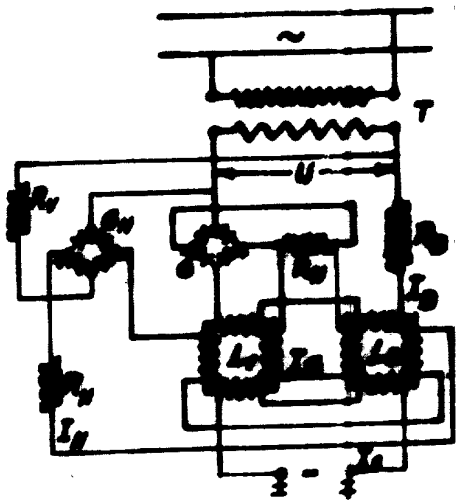


Bild 5.

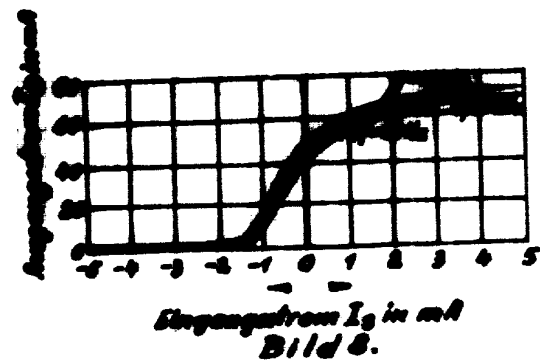


Bild 8.

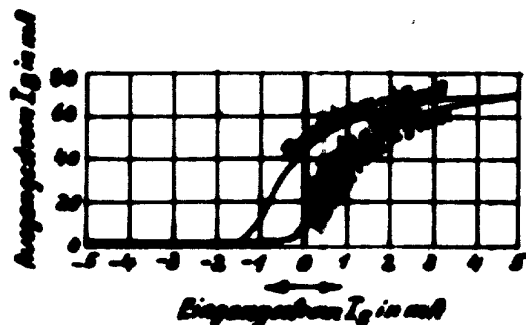


Bild 6.

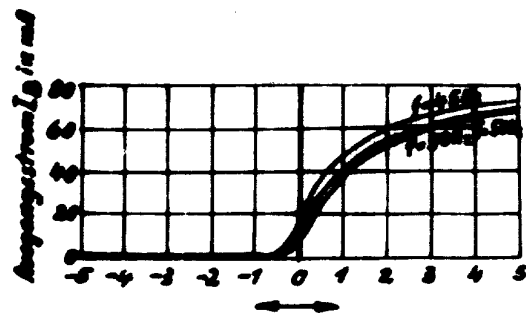


Bild 9.

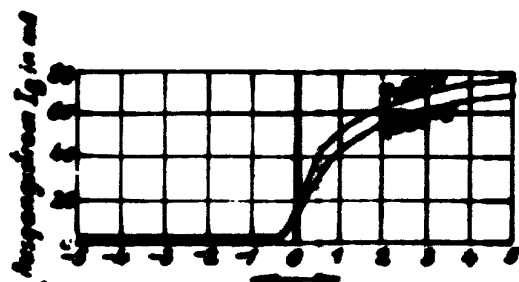


Bild 10.

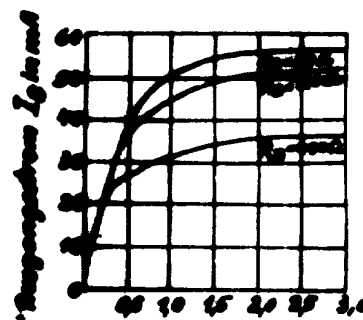


Bild 12.

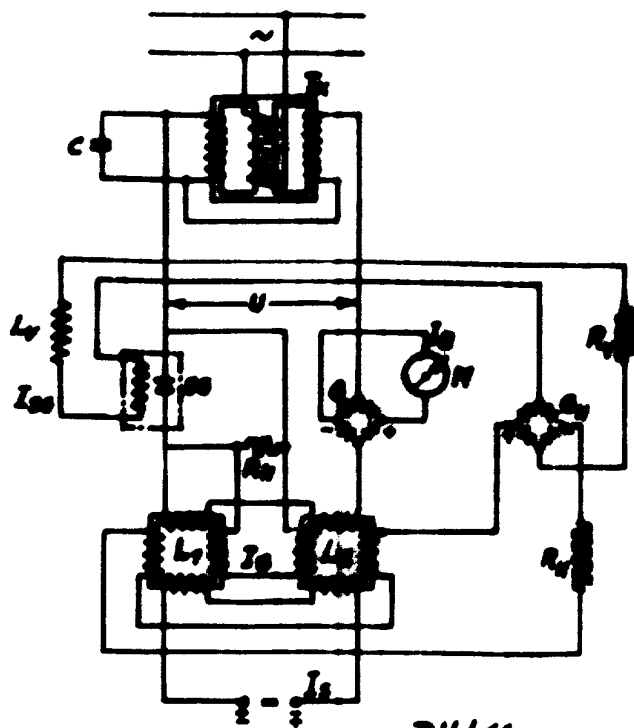


Bild 11.

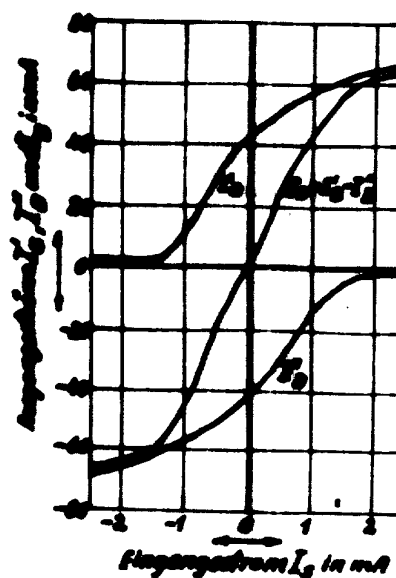
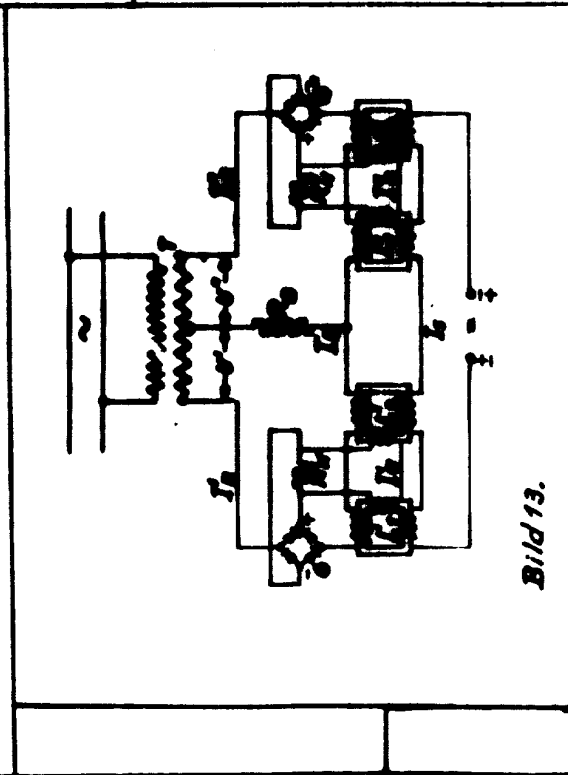
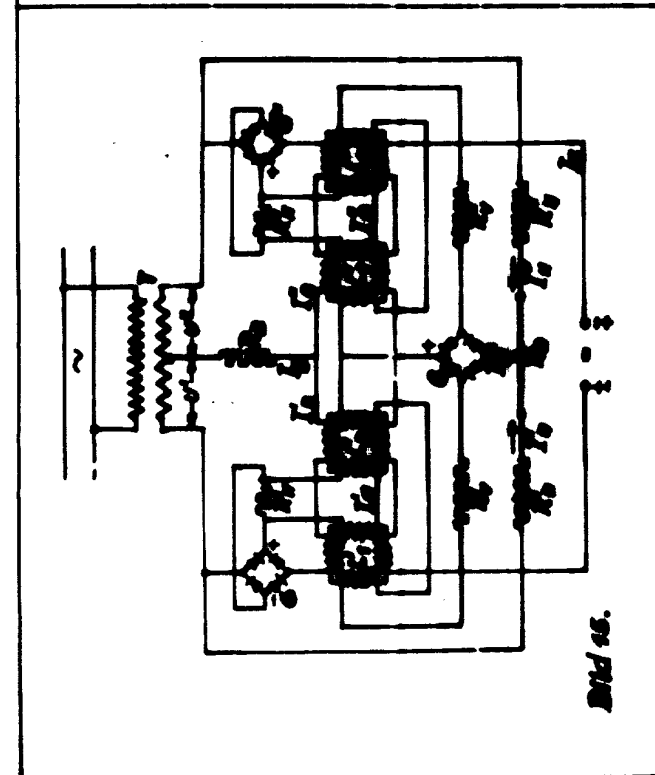
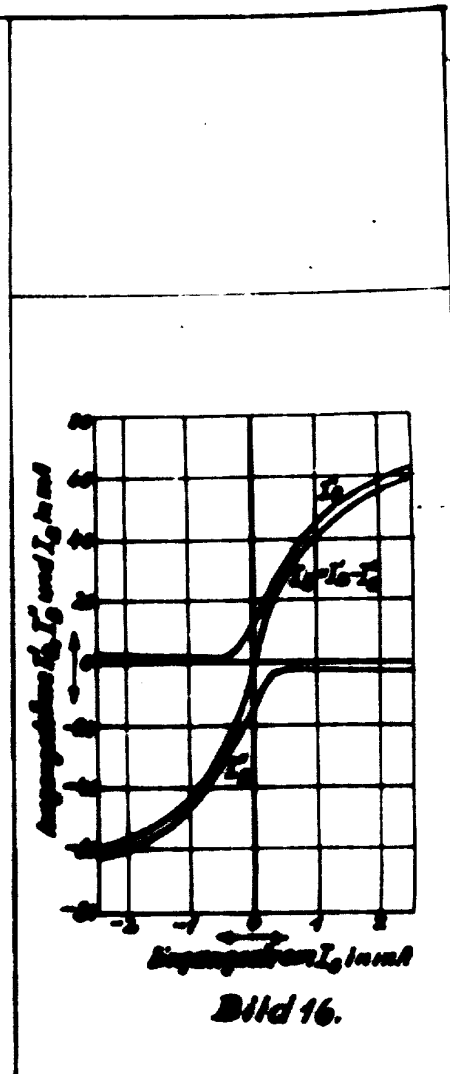
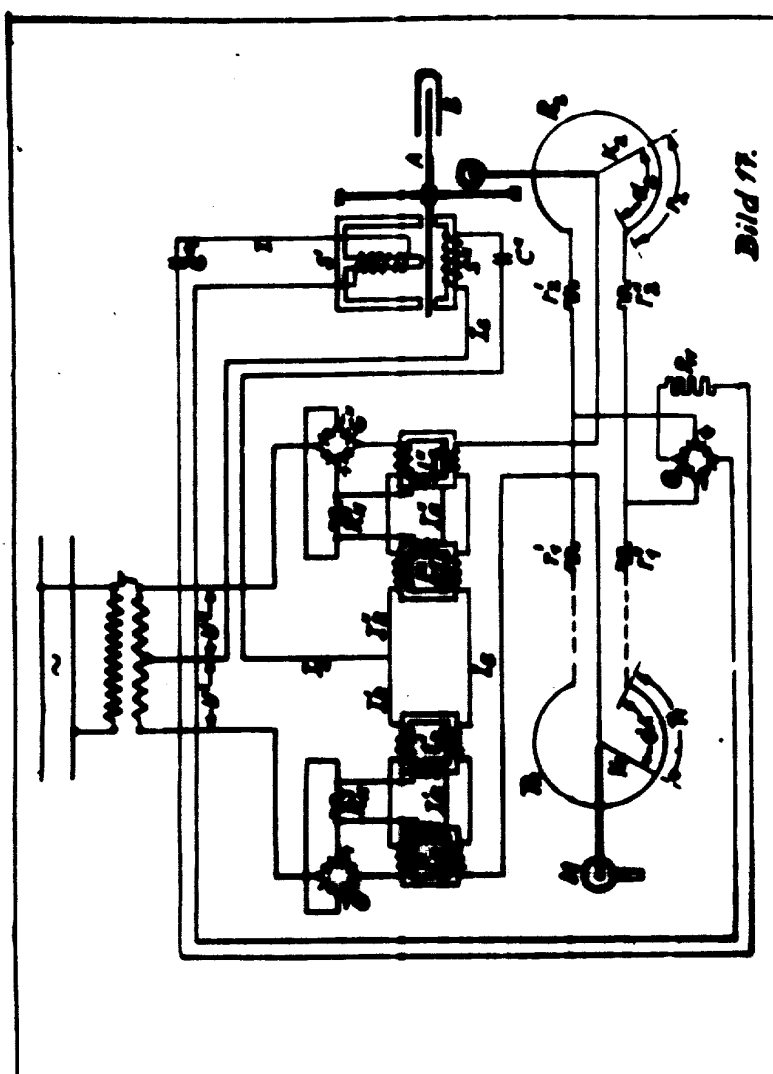
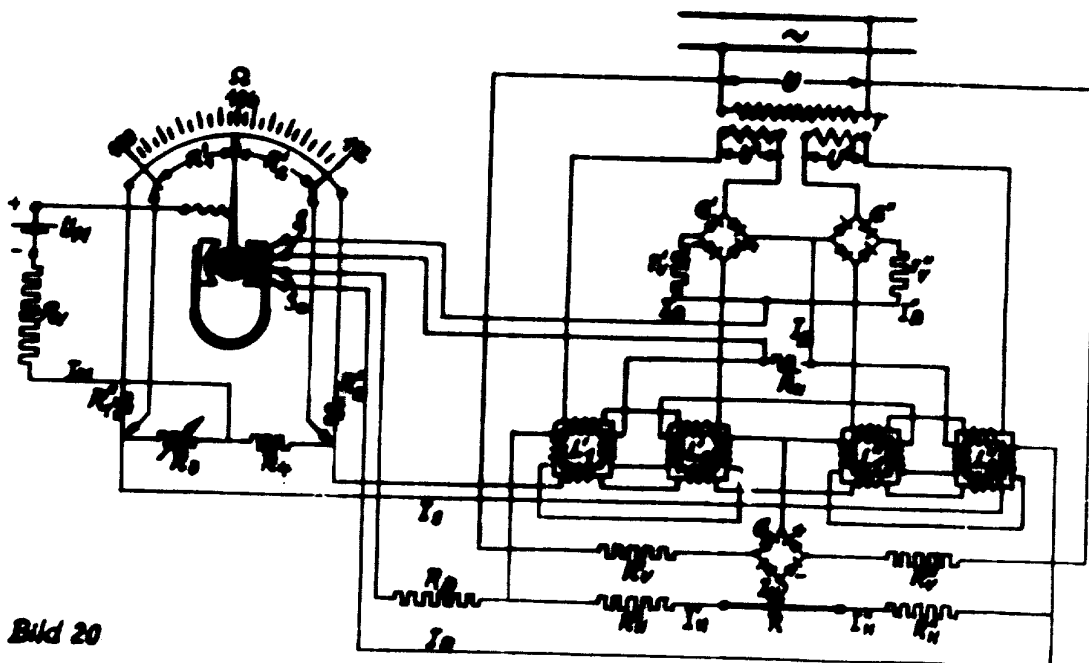
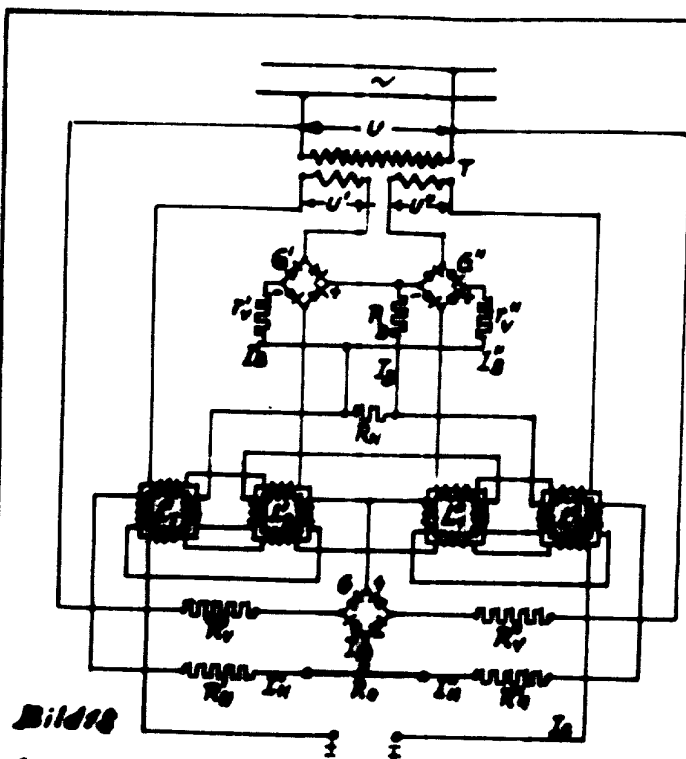


Bild 14.





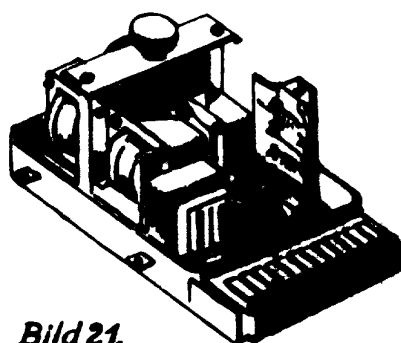


Bild 21.

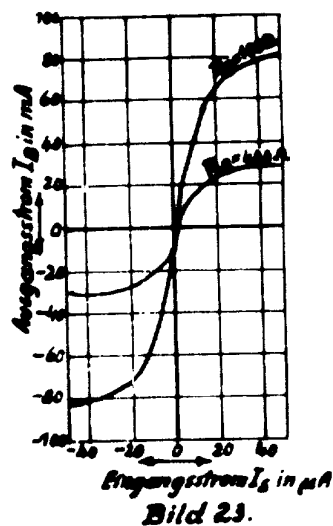


Bild 23.

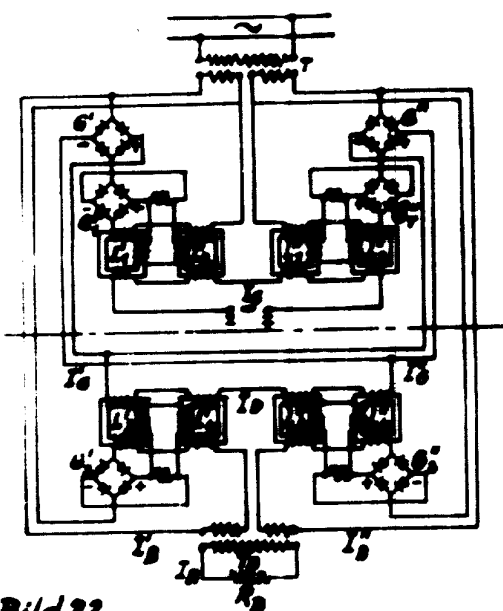
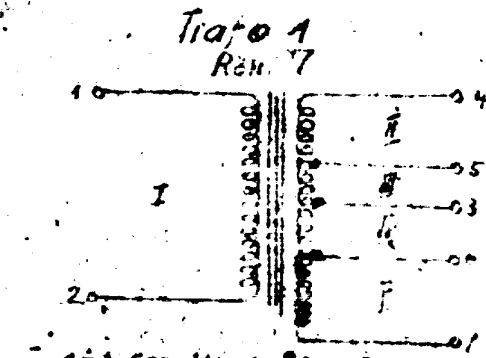


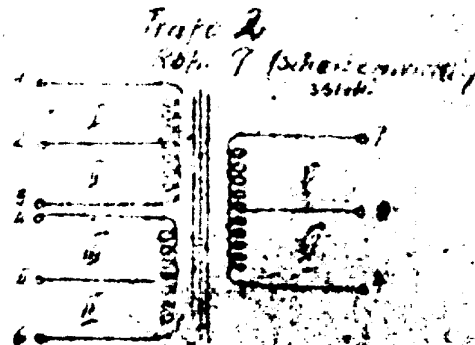
Bild 22.



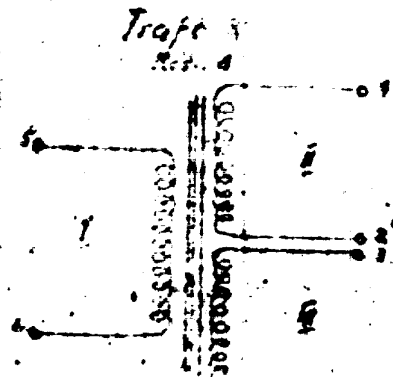




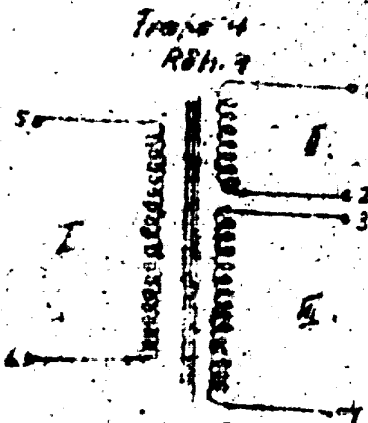
1	1+2	5001 bridge	0.6° Col	1.2
2	4+5	2000 "	0.2° "	1.0
3	5+3	45 "	0.2° "	1.0
4	3+6	15 "	0.2° "	1.0
5	6+7	2000 "	0.2° "	1.0



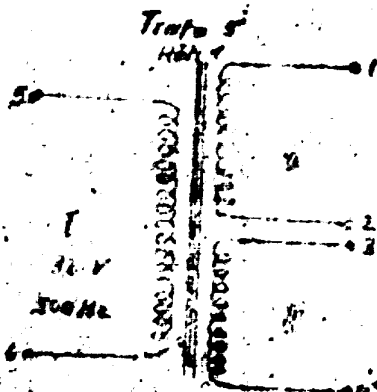
I	4+2	600	Wing	4.5	34	1/2	spotted
II	2+4	600	"	4.5	42	1/2	"
III	4+5	605	"	4.5	48	1/2	"
IV	3+6	600	"	4.5	48	1/2	"
V	2+8	75	"	4.5	48	1/2	"
VI	8+3	160	"	4.5	48	1/2	"



1	5-6	400	149.	400	55.1	1000/3000
2	5-6	1400		400	258-	1000/3000
3	2-4	1400		400	265-	3000/4000



I 546 500 Hz QZ 142 515/500 Hz  
 I 142 100 - 50 92 515/500 Hz  
 I 142 200 Hz QZ 0 515/500 Hz



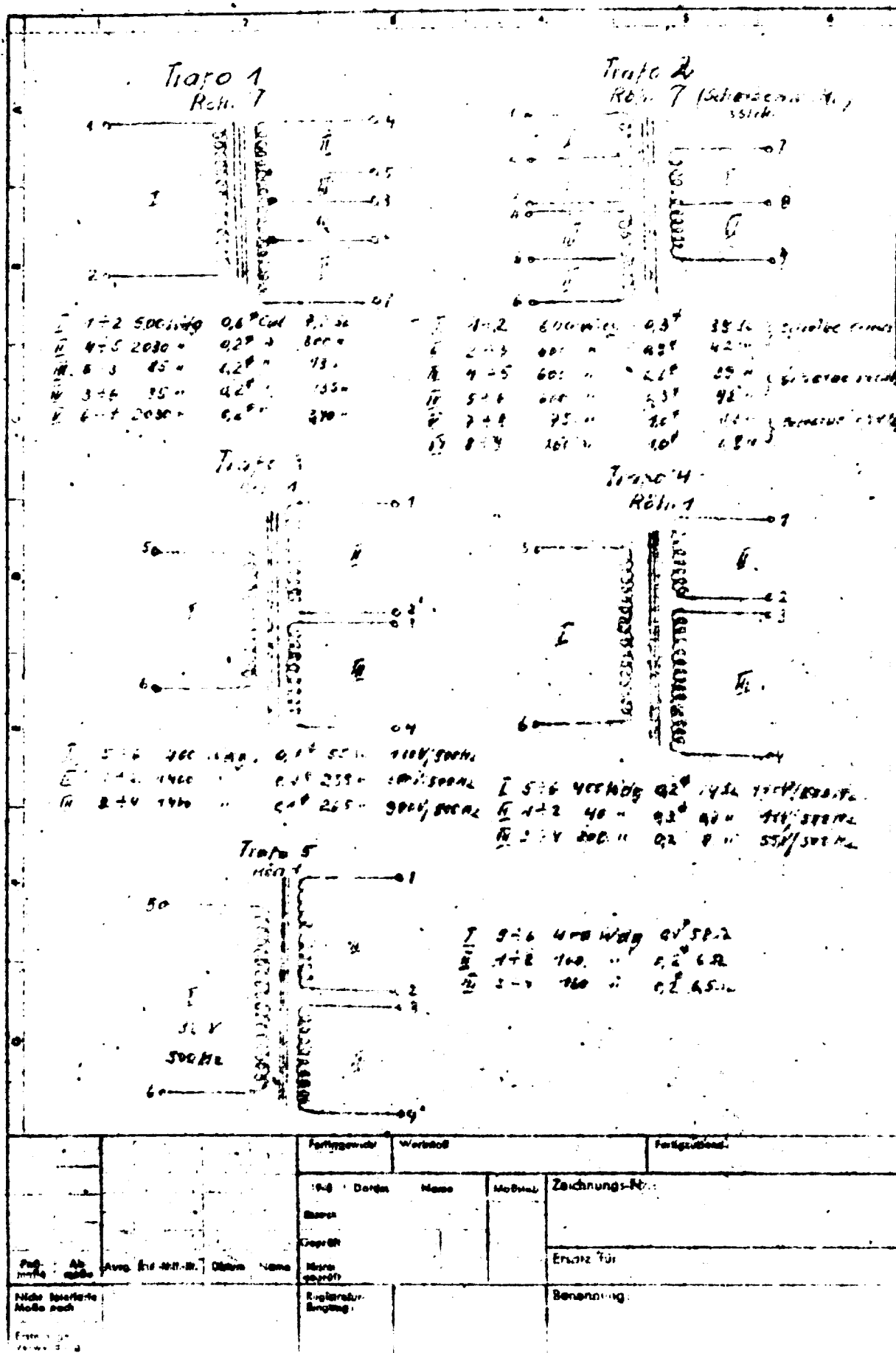
1	8-16	400	1489	4552
2	1-8	700	"	4562
3	1-7	700	"	4572

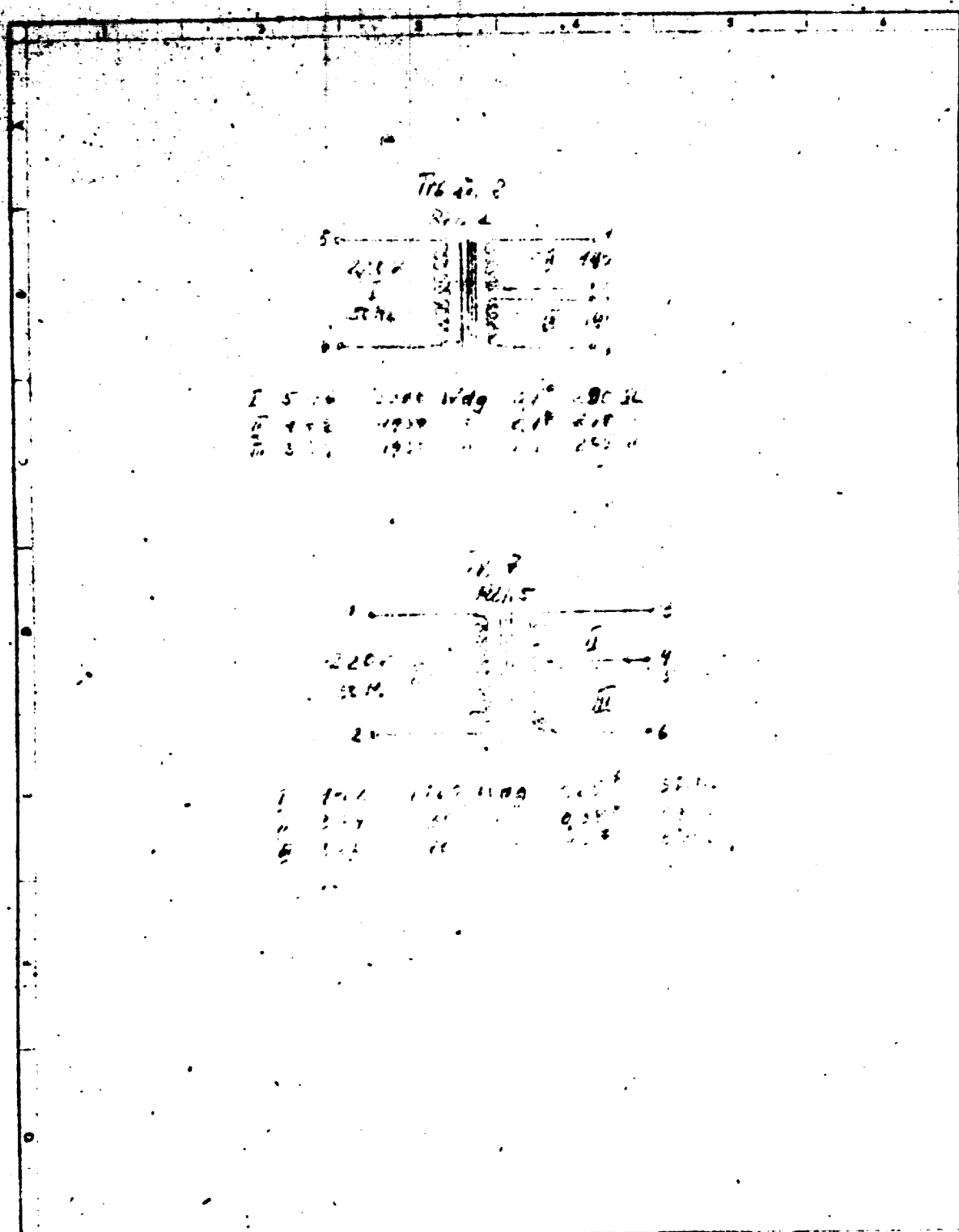
[illegible]

Titel 2

Reihe 2

1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000	3001	3002	3003	3004	3005	3006	3007	3008	3009	3010	3011	3012	3013	3014	3015	3016	3017	3018	3019	3020	3021	3022	3023	3024	3025	3026	3027	3028	3029	3030	3031	3032	3033	3034	3035	3036	3037	3038	3039	3040	3041	3042	3043	3044	3045	3046	3047	3048	3049	3050	3051	3052	3053	3054	3055	3056	3057	3058	3059	3060	3061	3062	3063	3064	3065	3066	3067	3068	3069	3070	3071	3072	3073	3074	3075	3076	3077	3078	3079	3080	3081	3082	3083	3084	3085	3086	3087	3088	3089	3090	3091	3092	3093	3094	3095	3096	3097	3098	3099	3100	3101	3102	3103	3104	3105	3106	3107	3108	3109	3110	3111	3112	3113	3114	3115	3116	3117	3118	3119	3120	3121	3122	3123	3124	3125	3126	3127	3128	3129	3130	3131	3132	3133	3134	3135	3136	3137	3138	3139	3140	3141	3142	3143	3144	3145	3146	3147	3148	3149	3150	3151	3152	3153	3154	3155	3156	3157	3158	3159	3160	3161	3162	3163	3164	3165	3166	3167	3168	3169	3170	3171	3172	3173	3174	3175	3176	3177	3178	3179	3180	3181	3182	3183	3184	3185	3186	3187	3188	3189	3190	3191	3192	3193	3194	3195	3196	3197	3198	3199	3200	3201	3202	3203	3204	3205	3206	3207	3208	3209	3210	3211	3212	3213	3214	3215	3216	3217	3218	3219	3220	3221	3222	3223	3224	3225	3226	3227	3228	3229	3230	3231	3232	3233	3234	3235	3236	3237	3238	3239	3240	3241	3242	3243	3244	3245	3246	3247	3248	3249	3250	3251	3252	3253	3254	3255	3256	3257	3258	3259	3260	3261	3262	3263	3264	3265	3266	3267	3268	3269	3270	3271	3272	3273	3274	3275	3276	3277	3278	3279	3280	3281	3282	3283	3284	3285	3286	3287	3288	3289	3290	3291	3292	3293	3294	3295	3296	3297	3298	3299	3300	3301	330
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----





		Fertigungs-Nr.		Versuch		Fertigungs-Nr.	
		1968	Datum	Name	Verfasser	Zeichnungs-Nr.	
		Gezeichnet					
		Geprüft				Ersatz für	
Paß- maß		Ausg.	1-4	11. 40.	Datum	Name	Benennung
Nicht tolerierte Maße nach		Regelmaß Eingang					
Erläuterung Verwendung							

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300090003-0

25X1A

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R005300090003-0